



**TUGAS AKHIR - TE 141599**

**ANALISIS STABILITAS TEGANGAN MENGGUNAKAN  
*POSITIVE SEQUENCE VOLTAGE RANKING INDEX*  
UNTUK PENEMPATAN KAPASITOR PADA JARINGAN  
DISTRIBUSI TIGA FASA PT. PLN APJ SURABAYA  
UTARA**

**BAMBANG IRAWAN  
NRP 2212 106 092**

**Dosen Pembimbing :  
Prof. Ir. ONTOSENO PENANGSANG, M.Sc., Ph.D.  
Dr. RONY SETO WIBOWO, ST., MT.**

**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2015**



**FINAL PROJECT - TE 141599**

**VOLTAGE STABILITY ANALYSIS BASED ON POSITIVE  
SEQUENCE VOLTAGE RANKING INDEX FOR  
CAPACITOR PLACEMENT IN THREE-PHASE  
DISTRIBUTION NETWORKS PT. PLN APJ SURABAYA  
UTARA**

**BAMBANG IRAWAN  
NRP 2212 106 092**

**SUPERVISOR :**

**Prof. Ir. ONTOSENO PENANGSANG, M.Sc., Ph.D.  
Dr. RONY SETO WIBOWO, ST., MT.**

**DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING  
Faculty Of Industry Technology  
Sepuluh Nopember Institute Of Technology  
Surabaya 2015**

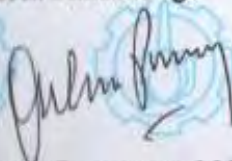
**ANALISIS STABILITAS TEGANGAN MENGGUNAKAN  
POSITIVE SEQUENCE VOLTAGE RANKING INDEX UNTUK  
PENEMPATAN KAPASITOR PADA JARINGAN DISTRIBUSI  
TIGA FASA PT. PLN APJ SURABAYA UTARA**

**TUGAS AKHIR**

Diajukan untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan  
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
Pada  
Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga  
Jurusan Teknik Elektro  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Menyetujui :

Dosen Pembimbing I



Prof. Ir. Ontoscho Penangsang, M.Sc, Ph.D  
NIP. 194907151974121001

Dosen Pembimbing II



Dr. Rony Seto Wibowo, ST., MT.  
NIP. 197411292000121001



# **Analisis Stabilitas Tegangan menggunakan *Positive Sequence Voltage Ranking Index* untuk Penempatan Kapasitor pada Jaringan Distribusi Tiga Fasa Tidak Seimbang PT. PLN APJ Surabaya Utara**

Nama Mahasiswa : Bambang Irawan  
Nomor Pokok : 2212 106 092  
Dosen Pembimbing I : Prof. Ir. Ontoseno Penangsang, M.Sc, Ph.D  
NIP : 194907151974121001  
Dosen Pembimbing II : Dr. Rony Seto Wibowo, ST.,MT.  
NIP : 197411292000121001

## **ABSTRAK**

Penambahan beban secara terus menerus pada jaringan distribusi radial dapat menyebabkan *drop* tegangan meningkat dan menimbulkan ketidakstabilan tegangan yang dapat memicu *black out* atau *collapse* seluruh sistem. Pada penelitian ini akan dibahas tentang analisis kestabilan tegangan pada jaringan distribusi radial PT. PLN APJ Surabaya Utara untuk menentukan lokasi penempatan kapasitor sehingga dapat mengurangi *drop* tegangan sistem dan meningkatkan indeks kestabilan pada setiap bus. Simulasi aliran daya tiga fasa tidak seimbang yang dilakukan menggunakan *Positive Sequence Voltage* untuk mendapatkan *Voltage Ranking Index* berdasarkan indeks kestabilannya. Dengan demikian dapat ditentukan lokasi penempatan kapasitor untuk mencegah terjadinya *voltage collapse* pada jaringan distribusi berdasarkan ranking indeks terendah.

**Kata Kunci :** Kestabilan Tegangan, Sistem Distribusi, *Positive Sequence Voltage*, *Voltage Ranking Index*



# **Voltage Stability Analysis based on Positive Sequence Voltage Ranking Index for Capacitor Placement in Unbalance Three Phase Distribution Networks PT. PLN APJ Surabaya Utara**

Student Name : Bambang Irawan  
Registration Number : 2212 106 092  
Supervisor I : Prof. Ir. Ontoseno Penangsang, M.Sc, Ph.D  
NIP : 194907151974121001  
Supervisor II : Dr. Rony Seto Wibowo, ST.,MT.  
NIP : 197411292000121001

## **ABSTRACT**

Addition of continuous load on the radial distribution network can be cause a voltage drop increases and raises the voltage instability that can lead to black out or collapse for all system. In this study will be discussed on the analysis of voltage stability in radial distribution network PT. PLN APJ Surabaya Utara to determine where to place the capacitor so as to reduce the voltage drop across the system and increase the stability index on each bus. Three-phase power flow simulations were performed using the unbalanced Positive Sequence Voltage for Voltage Ranking Index is based on the stability index. Thus it can be determined where to place the capacitor to prevent voltage collapse on the distribution network based on the lowest ranking index.

**Keyword :** Voltage Stability, Distribution System, Positive Sequence Voltage, Voltage Ranking Index

## KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, dengan segala puji syukur kepada Allah SWT yang memiliki segala apa yang ada di dunia. Dengan segala kerendahan hati, hanya karena limpahan kasih sayang, karunia, petunjuk, dan bimbingan Allah SWT penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan judul **“Analisis Stabilitas Tegangan menggunakan *Positive Sequence Voltage Ranking Index* untuk Penempatan Kapasitor pada Jaringan Distribusi Tiga Fasa PT. PLN APJ Surabaya Utara”**

Tugas Akhir ini disusun sebagai salah satu persyaratan untuk menyelesaikan pendidikan Strata 1 (S1) pada Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri-Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Atas selesainya penyusunan Tugas Akhir ini, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada :

1. Allah SWT atas limpahan ridho, rahmat dan karunia-Nya.
2. Bunda Suyani, Kakak Astutik, Mas Irwanto serta seluruh keluarga yang selalu mendukung penulis dalam menyelesaikan studi.
3. Prof. Ir. Ontoseno Penangsang, M.Sc, PhD dan Dr. Rony Seto Wibowo, ST., MT. sebagai dosen pembimbing yang telah banyak memberikan arahan dan perhatiannya dalam penyelesaian Tugas Akhir.
4. Dimas Fajar Uman Putra, ST., MT. yang telah banyak memberikan dukungan dan bantuan kepada penulis selama penyelesaian Tugas Akhir.
5. Teman-teman seperjuangan Final Project B103 A'at, Yustika, Linda, Risky, Kemal, Dwiky, Alvan, dan Andrey. Serta keluarga besar Power LJ 2012.
6. Keluarga Besar Lab. B103, Pak Yanto, Faujan, Rusdha, Kharismawan, Khakim, Surya, Citra, dan Nani.
7. Seluruh dosen yang telah memberikan ilmunya selama kuliah, karyawan, dan keluarga besar Jurusan Teknik Elektro ITS yang tidak bisa disebutkan satu per satu.

Semoga Tugas Akhir ini bermanfaat bagi mahasiswa maupun peneliti. Penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan, untuk itu kritik dan saran diharapkan untuk penyempurnaan Tugas Akhir ini.

Surabaya, Januari 2015  
Penulis

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL .....	i
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN .....	ii
LEMBAR PENGESAHAN .....	iii
ABSTRAK .....	iv
ABSTRACT .....	v
KATA PENGANTAR .....	vi
DAFTAR ISI .....	vii
DAFTAR GAMBAR .....	ix
DAFTAR TABEL .....	x

### BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Perumusan Masalah .....	1
1.3 Tujuan Tugas Akhir .....	1
1.4 Metodologi .....	2
1.5 Sistematika .....	3
1.6 Relevansi .....	4

### BAB II KESTABILAN TEGANGAN

2.1 Definisi Kestabilan Tegangan .....	5
2.2 Definisi Tegangan Jatuh ( <i>Voltage Collapse</i> ).....	5
2.3 Metode Analisa pada Stabilitas Tegangan .....	6
2.3.1 Analisa Kestabilan Tegangan Berdasarkan Kurva P-V .....	7
2.3.2 Analisa Kestabilan Tegangan Berdasarkan VRI ( <i>Voltage Ranking Index</i> ) pada Jaringan Distribusi 3 Fasa .....	7
2.4 Sistem Tenaga Listrik Tiga Fasa .....	11
2.4.1 Rangkaian Listrik Tiga Fasa .....	11
2.4.2 Daya pada Rangkaian Listrik Tiga Fasa .....	14
2.4.3 Komponen Simetris .....	16

### BAB III PERENCANAAN SISTEM DAN PERANCANGAN PROGRAM

3.1 Pengumpulan Data .....	24
3.2 Analisa Aliran Daya .....	24
3.3 <i>Positive Sequence Voltage Ranking Index (PS-VRI)</i> .....	27
3.4 <i>Placement and Sizing Capacitor</i> .....	28



## **BAB IV SIMULASI DAN ANALISA DATA**

4.1 Hasil Simulasi .....	31
4.1.1 Penyulang Kapas Kerampung 27 Bus .....	32
4.1.2 Penyulang Mulyosari 68 Bus .....	38
4.2 Analisis Aliran Daya .....	51
4.2.1 Penyulang Kapas Kerampung 27 Bus .....	51
4.2.2 Penyulang Mulyosari 68 Bus .....	55

## **BAB V PENUTUP**

5.1 Kesimpulan .....	59
5.2 Saran .....	60

## **DAFTAR PUSTAKA BIOGRAFI PENULIS LAMPIRAN**



## DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Hasil Load Flow Penyulang Kapas Kerampung sebelum Pemasangan Kapasitor .....	32
Tabel 4.2 Data Kenaikan Level Tegangan Penyulang Kapas Kerampung setelah Pemasangan Kapasitor pada Bus 27 ....	33
Tabel 4.3 Data Kenaikan Level Tegangan Penyulang Kapas Kerampung setelah Pemasangan Kapasitor pada Bus 18 ....	35
Tabel 4.4 Data Kenaikan Level Tegangan Penyulang Kapas Kerampung setelah Pemasangan Kapasitor pada Bus 22 ....	36
Tabel 4.5 Data Kapasitas Kapasitor dengan lokasi yang berbeda pada Penyulang Kapas Kerampung .....	38
Tabel 4.6 Hasil Load Flow Penyulang Mulyosari sebelum Pemasangan Kapasitor .....	38
Tabel 4.7 Data Kenaikan Level Tegangan Penyulang Mulyosari setelah Pemasangan Kapasitor pada Bus 68 .....	41
Tabel 4.8 Data Kenaikan Level Tegangan Penyulang Mulyosari setelah Pemasangan Kapasitor pada Bus 45 .....	44
Tabel 4.9 Data Kenaikan Level Tegangan Penyulang Mulyosari setelah Pemasangan Kapasitor pada Bus 63 .....	47
Tabel 4.10 Data Kapasitas Kapasitor dengan lokasi yang berbeda pada Penyulang Mulyosari .....	51

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Bentuk dan Karakteristik Kurva P-V .....	7
Gambar 2.2 Rangkaian Ekvivalen dari Jaringan Dua Bus Seimbang ..	8
Gambar 2.3 Skema Sistem Tenaga Listrik .....	11
Gambar 2.4 Gelombang Tegangan Tiga Fasa .....	12
Gambar 2.5 Diagram Fasor Tegangan Tiga Fasa .....	12
Gambar 2.6 Rangkaian Hubungan Y-Y .....	13
Gambar 2.7 Rangkaian Beban Hubungan Y Seimbang .....	14
Gambar 2.8 Segitiga Daya .....	15
Gambar 2.9 Diagram fasor dalam Grafik P-Q .....	16
Gambar 2.10 Komponen Simetri Tegangan dari Sistem Tiga Fasa Tidak Seimbang .....	17
Gambar 2.11 Tegangan Sistem sebagai Penjumlahan dari Komponen Simetris .....	18
Gambar 3.1 Blok Digram Sistem Keseluruhan .....	21
Gambar 3.2 Kelebihan Metode PS-VRI .....	22
Gambar 3.3 <i>Flowchart</i> Sistem .....	23
Gambar 3.4 <i>Single Line</i> Sistem Distribusi .....	25
Gambar 4.1 VRI dari penyulang Kapas Kerampung .....	52
Gambar 4.2 Kenaikan Level Tegangan Sistem setelah Pemasangan Kapasitor pada Bus 18 .....	52
Gambar 4.3 Kenaikan Level Tegangan Sistem setelah Pemasangan Kapasitor pada Bus 22 .....	53
Gambar 4.4 Kenaikan Level Tegangan Sistem setelah Pemasangan Kapasitor pada Bus 27 .....	53
Gambar 4.5 Kapasitas Kapasitor untuk masing-masing Lokasi Penempatan pada Penyulang Kapas Kerampung .....	54
Gambar 4.6 VRI dari penyulang Mulyosari .....	55
Gambar 4.7 Kenaikan Level Tegangan Sistem setelah Pemasangan Kapasitor pada Bus 45 .....	56
Gambar 4.8 Kenaikan Level Tegangan Sistem setelah Pemasangan Kapasitor pada Bus 63 .....	56
Gambar 4.9 Kenaikan Level Tegangan Sistem setelah Pemasangan Kapasitor pada Bus 68 .....	57
Gambar 4.10 Kapasitas Kapasitor untuk masing-masing Lokasi Penempatan pada Penyulang Mulyosari .....	57

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Jaringan distribusi radial merupakan jaringan distribusi yang banyak digunakan pada daerah yang berkembang sehingga lebih mudah dalam penambahan beban. Semakin banyak beban yang terpasang maka permintaan daya beban akan semakin meningkat namun pada sisi pembangkit tidak dapat memenuhi dan mengakibatkan pemadaman. Kondisi tersebut dapat dihindari dengan menganalisa stabilitas tegangan menggunakan studi aliran daya (*load flow*) untuk mengetahui besar beban maksimum dan *drop* tegangan maksimum pada jaringan distribusi untuk menghindari *black out* atau *collapse* seluruh sistem.

Tugas akhir ini dibuat untuk menganalisa setiap bus pada jaringan distribusi radial PT. PLN APJ Surabaya Utara terhadap penambahan beban sehingga dapat diketahui ranking indeksinya dengan menggunakan *Positive Sequence Voltage Ranking Index (PS-VRI)*. Metode ini digunakan karena pada kondisi beban seimbang maupun tidak seimbang, tegangan urutan positif (*Positive Sequence Voltage*) selalu ada dan kurva yang dihasilkan hanya satu untuk tegangan tiga fasa. Dengan diketahuinya ranking indeks pada bus jaringan distribusi, dapat ditentukan lokasi penempatan kapasitor berdasarkan ranking indeks terendah yang merepresentasikan bus tersebut paling tidak stabil untuk mengurangi kondisi *under voltage*.

### 1.2 Perumusan Masalah

Perumusan masalah yang akan dibahas dalam Tugas Akhir ini adalah :

1. Bagaimana menganalisa kestabilan tegangan dengan *Load Flow Three-phase Unbalance* menggunakan *Positive Sequence Voltage Ranking Index (PS-VRI)*.
2. Bagaimana menentukan lokasi penempatan kapasitor berdasarkan *Ranking Index* dari metode PS-VRI.

### 1.3 Tujuan Tugas Akhir

Tujuan dari Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Mengetahui level tegangan masing-masing bus pada jaringan distribusi radial berdasarkan *Voltage Ranking Index*.



2. Mengetahui bus terlemah berdasarkan ranking yang telah ditentukan menggunakan indeks masing-masing bus.
3. Mengetahui lokasi penempatan kapasitor yang efektif berdasarkan *Ranking Index* dari metode PS-VRI untuk memperbaiki level tegangan sistem.

## 1.4 Metodologi

Metodologi yang digunakan dalam penelitian dan Tugas Akhir ini adalah :

1. Studi Literatur

Penulis mempelajari mengenai dasar teori studi aliran daya, kestabilan tegangan, dan pemrograman Matlab dari buku literatur, buku tugas akhir, artikel-artikel dari internet dan jurnal IEEE. Untuk mengetahui metode dan karakteristik sebagai acuan dalam penelitian tugas akhir ini.

2. Pembuatan Program

Dalam pembuatan program yaitu menggunakan software Matlab R2012b dengan menggunakan *Positive Sequence Voltage Ranking Index (PS-VRI)* untuk *load flow unbalance voltage three-phase*.

3. Pengujian Program dan Analisa Data

Setelah program simulasi sudah selesai, diharapkan hasil simulasi berupa data indeks dan ranking level tegangan dari masing-masing bus. Dengan mengetahui indeks dan ranking level tegangan terendah maka penulis akan menganalisa penempatan kapasitor yang optimal untuk mengatasi kondisi *under voltage*.

4. Penulisan Laporan Tugas Akhir

Sebagai hasil akhir dari penelitian dilakukan penulisan laporan dalam bentuk buku tugas akhir.

Sedangkan untuk urutan kerja pada metode yang digunakan adalah sebagai berikut :

1. Melakukan pembacaan data saluran dan beban

Pembacaan data saluran dan beban dilakukan pada jaringan distribusi radial PLN APJ Surabaya Utara. Data tersebut digunakan sebagai data awal dalam simulasi sebelum adanya penempatan kapasitor.

2. Menganalisa aliran daya

Dari urutan kerja point 1 diatas, dapat dilakukan analisa aliran daya dengan *Positive Sequence Voltage Ranking Index (PS-VRI)*



menggunakan *software* Matlab untuk kondisi beban seimbang maupun beban tak seimbang.

### 3. Menentukan *Ranking Index*

Dari hasil simulasi aliran daya (point 3) akan didapatkan parameter tegangan dan arus masing-masing bus. Parameter tersebut digunakan untuk menghitung *Positive Sequence Voltage Ranking Index (PS-VRI)* sehingga akan didapatkan *Ranking Index* setiap bus.

### 4. Menentukan penempatan kapasitor

Berdasarkan *Ranking Index* (point 4) dapat ditentukan lokasi penempatan kapasitor untuk memperbaiki level tegangan sistem berdasarkan indeks terendah yang menandakan bahwa bus tersebut paling tidak stabil.

### 5. Kesimpulan

Pada urutan kerja terakhir, dilakukan pengambilan kesimpulan dan rekomendasi dari hasil tugas akhir yang dapat digunakan sebagai referensi untuk tugas akhir berikutnya.

## 1.5 Sistematika

Sistematika dalam penulisan Tugas Akhir ini terbagi atas lima bagian dengan terurai sebagai berikut :

### BAB I : PENDAHULUAN

Bab ini membahas tentang penjelasan mengenai pendahuluan latar belakang, permasalahan, batasan masalah, tujuan, metodologi, sistematika penulisan, dan relevansi.

### BAB II : TEORI PENUNJANG

Bab ini secara garis besar membahas tentang teori penunjang sebagai pendukung penyelesaian tugas akhir yang berisikan tentang kestabilan tegangan, sistem distribusi, *power flow three-phase unbalanced*, dan *voltage ranking index* untuk penentuan lokasi penempatan kapasitor pada sistem distribusi tiga fasa PT. PLN APJ Surabaya Utara.

### BAB III : PERENCANAN SISTEM DAN PERANCANGAN PROGRAM

Bab ini berisi tentang rancangan sistem dari sistem distribusi tiga fasa PT. PLN APJ Surabaya Utara dan rancangan program *power flow three-phase unbalanced* serta *voltage ranking index* untuk penentuan lokasi penempatan kapasitor.

### BAB IV : SIMULASI DAN ANALISA DATA

Pada bab ini berisi tentang hasil dari simulasi program *power flow three-phase unbalanced* dan program *positive sequence voltage ranking index*

(*PS-VRI*) untuk penentuan lokasi penempatan kapasitor, serta analisa mengenai pengaruh kenaikan pembebanan pada masing-masing bus dan bagaimana pengaruhnya terhadap kestabilan sistem distribusi tiga fasa PT. PLN APJ Surabaya Utara.

## BAB V : PENUTUP

Berisikan tentang kesimpulan dari hasil analisa data dan simulasi program *power flow three-phase unbalanced* serta program *positive sequence voltage ranking index (PS-VRI)* untuk penentuan lokasi penempatan kapasitor.

### 1.6 Relevansi

Diharapkan pada tugas akhir ini bisa di jadikan sebagai acuan kemampuan sistem Jaringan Distribusi Tiga Fasa PT. PLN APJ Surabaya Utara dalam penambahan beban yang bisa berubah meningkat sewaktu-waktu. Serta dapat menjadi refrensi dasar dalam pengembangan metode *Positive Sequence Voltage Ranking Index (PS-VRI)* yang lebih handal.

## **BAB II**

### **KESTABILAN TEGANGAN**

#### **2.1 Definisi Kestabilan Tegangan**

Menurut IEEE, kesetabilan tegangan didefinisikan sebagai kemampuan suatu sistem tenaga listrik untuk dapat mempertahankan level tegangan semua cabang (node) dalam kondisi normal setelah sistem mengalami kondisi awal gangguan [1]. Definisi ini akan memberikan gambaran bahwa kekokohan sistem tenaga dapat diukur dari kemampuan untuk menjaga keseimbangan antara daya yang dibutuhkan dengan daya yang dihasilkan. Sistem dapat dalam kondisi tidak stabil bila adanya gangguan, meningkatnya beban yang dibutuhkan dan perubahan topologi jaringan yang mengakibatkan penurunan tegangan secara tidak terkendali [1]. Ketidakstabilan sistem dapat berasal dari kondisi disetiap komponen sistem tenaga [2], seperti:

1. Generator

Generator sebagai pembangkit listrik memberikan pasokan daya reaktif yang cukup untuk dapat menjaga sistem tenaga pada kondisi stabil dengan menjaga level tegangan beroperasi pada standar yang normal. Namun generator dibatasi oleh kurva kapabilitas sehingga menyebabkan output daya reaktif menjadi berkurang yang disebabkan oleh terbatasnya belitan medan.

2. Saluran Transmisi

Saluran transmisi juga menjadi penyebab lain yang penting dalam stabilitas tegangan dimana saluran transmisi membatasi daya maksimum yang akan dikirim dan dapat diartikan sebagai batasan panas pada sistem transmisi.

3. Beban

Beban merupakan komponen yang dapat menyebabkan stabilitas tegangan terganggu. Beban memiliki dua katagori yaitu beban statis dan beban dinamis, kedua jenis beban tersebut dapat pengaruh profil tegangan hingga melampaui batas daya reaktif pembangkit.

#### **2.2 Definisi Tegangan Jatuh (*Voltage Collapse*)**

Tegangan jatuh (*voltage collapse*) adalah sebuah fenomena yang selalu muncul bila adanya kenaikan beban yang sangat besar pada sistem tenaga listrik. Keadaan ini dapat muncul dalam bentuk peristiwa yang berurutan secara bersamaan dengan ketidakstabilan tegangan yang dapat



menyebabkan terjadinya pemadaman (*blackout*) atau tegangan yang beroperasi pada level di bawah batas pengoperasiannya sehingga menjadi bagian yang penting dari sistem tenaga [1]. Karena sifatnya yang nonlinier dari sebuah jaringan sistem tenaga listrik, sebagian fenomena yang terkait pada sistem tenaga menggunakan teknik nonlinier untuk menganalisa tegangan jatuh (*voltage collapse*) dan mencari solusi untuk menghindarinya [2]. Beberapa gangguan yang dapat mempengaruhi tegangan jatuh (*voltage collapse*), diantaranya adalah peningkatan beban secara terus menerus. Sebagian dari perubahan tersebut memiliki dampak yang signifikan dalam produksi, konsumsi, dan transmisi daya reaktif. Oleh karena itu disarankan untuk adanya tindakan pengontrolan dengan menggunakan perangkat kapasitor bank dan pembatasan beban [2].

### 2.3 Metode Analisa pada Stabilitas Tegangan

Beberapa sarana yang digunakan untuk analisa stabilitas tegangan adalah metode yang berdasarkan analisa dinamik dan analisa statis.

#### 1. Analisa dinamis (*dynamic analysis*)

Solusi numeric (simulasi) yang terdiri atas serangkaian persamaan diferensial dan aljabar pada pemodelan sistem tenaga listrik [1]. Kondisi tersebut sama dengan kondisi transien, namun jenis simulasi tersebut membutuhkan cukup banyak sumber daya komputasi karena untuk memecahkan solusinya memerlukan waktu yang sangat besar dan hasil yang diperoleh tidak memberikan sebuah solusi tentang sensibilitas dan tingkat stabilitas.

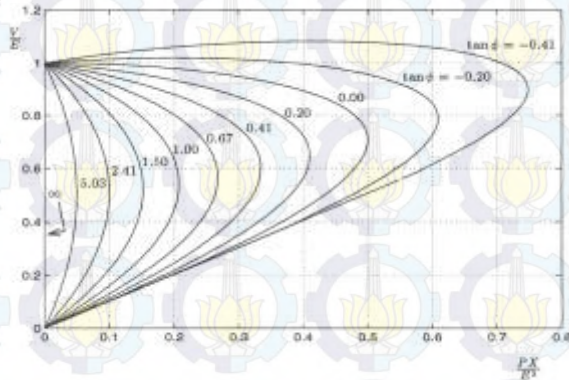
#### 2. Analisa statis (*static analysis*)

Solusi numeric (simulasi) yang terdiri atas serangkaian persamaan aljabar yang mewakili sistem dalam kondisi stabil atau *steady state* [1], dengan tujuan untuk mengevaluasi kelayakan titik *equilibrium* yang diwakili dengan kondisi sistem pengoperasian untuk menentukan nilai tegangan kritis sistem tersebut. Keuntungan yang berhubungan dengan teknik analisa statis adalah memberikan sebuah informasi tentang indentifikasi faktor utama pada permasalahan ketidakstabilan. Menggambar kurva P-V dan menentukan ranking indeks tiap bus dapat membantu untuk menganalisa batas kesetabilan tegangan pada sistem tenaga. Pada sebuah scenario dengan penambahan beban dan dengan adanya gangguan seperti lepasnya generator atau lepasnya saluran transmisi.



### 2.3.1 Analisa Kestabilan Tegangan Berdasarkan Kurva P-V

Kurva P-V menggambarkan tegangan yang bervariasi seiring dengan perubahan beban daya aktif yang terus meningkat. Kurva ini dihasilkan dengan sederet solusi aliran daya untuk tingkat beban yang berbeda-beda secara merata, dengan menjaga faktor daya selalu konstan. Daya aktif yang dihasilkan berasal dari kenaikan rating generator yang proposional atau faktor-faktor yang dipengaruhi oleh pengoperasiannya. Kenaikan komponen P pada masing-masing beban bergantung pada tegangan bus sesuai dengan permodelan beban yang telah ditentukan. Penentuan titik kritis ketika terjadi kenaikan beban sangat penting karena dapat menyebabkan tegangan jatuh (*voltage collapse*) pada sistem seperti pada gambar 2.1.



**Gambar 2.1** Bentuk dan Karakteristik Kurva P-V<sup>[1]</sup>

Beberapa penulis telah mengusulkan indeks stabilitas tegangan berdasarkan pada beberapa jenis analisa aliran daya, dengan tujuan untuk mengevaluasi batas stabilitas tegangan. Namun, aliran daya dengan menggunakan jacobian pada Metode Newton-Rapson digunakan untuk solusi tunggal aliran daya dalam titik kritis yang dekat pada daerah kritis yang cenderung menyimpang [1]. Kekurangan ini dapat dihindari dengan menggunakan studi aliran daya lanjutan [2].

### 2.3.2 Analisa Kestabilan Tegangan Berdasarkan VRI (*Voltage Ranking Index*) pada Jaringan Distribusi Tiga Fasa

Analisis jaringan distribusi tiga fasa tidak seimbang atau *multiphase* berdasarkan penambahan atau kenaikan beban aktif secara terus-menerus akan mempengaruhi nilai level tegangan yang semakin mendekati titik

kritisnya dimana semakin tinggi daya beban maka semakin tinggi pula level tegangan kritisnya. Metode VRI (*voltage ranking index*) dapat digunakan untuk menentukan titik kritis pada setiap bus berdasarkan indeks stabilitas tegangan dan ranking bus dengan menerapkan komponen simetris tiga fasa yang dihasilkan dari studi aliran daya tiga fasa [3].

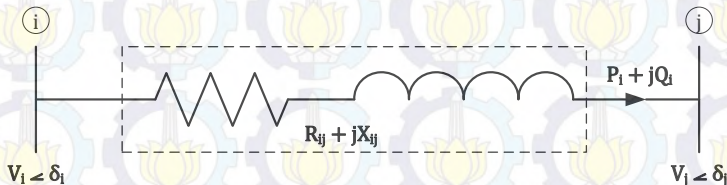
Pendekatan yang dilakukan dalam penelitian ini adalah menggunakan VRI bus untuk mengidentifikasi bus terlemah pada jaringan distribusi tiga fasa tidak seimbang atau *multiphase*. Bagian tersebut dimulai dari definisi VRI  $V/V_0$  pada dua bus jaringan seimbang seperti pada gambar 2.2 dan diaplikasikan untuk jaringan distribusi tiga fasa tidak seimbang menggunakan komponen simetrisnya [3]. VRI konvensional untuk jaringan distribusi tiga fasa seimbang didefinisikan sebagai berikut :

$$VRI_j^{\text{conventional}} = \frac{V}{V_0} = \frac{V_{j,\text{base-load}}}{V_{j,\text{no-load}}} \quad (2.1)$$

Dimana  $j$  adalah jumlah bus,  $V_{j,\text{base-load}}$  dan  $V_{j,\text{no-load}}$  adalah tegangan masing-masing bus untuk kondisi beban dasar dan kondisi tanpa beban. Studi aliran daya tiga fasa seimbang dapat digunakan untuk menghitung  $V_{j,\text{base-load}}$  seperti pada gambar 2.2 dan daya  $S$  pada bus  $j$  dapat dihitung sebagai berikut :

$$S_j = f(\delta, V) = P_j - jQ_j = (V_i \angle \delta_i - V_j \angle \delta_j) \left( \frac{V_i \angle \delta_i - V_j \angle \delta_j}{R_{ij} + jX_{ij}} \right) \quad (2.2)$$

Dimana  $V_i \angle \delta_i$  dan  $V_j \angle \delta_j$  adalah tegangan pada bus  $i$  dan bus  $j$ ,  $R_{ij}$  dan  $X_{ij}$  adalah resistansi dan reaktansi antara bus  $i$  dan bus  $j$ , sedangkan  $P_j$  dan  $Q_j$  adalah daya aktif dan daya reaktif yang mengalir dari bus  $i$  menuju bus  $j$ .



**Gambar 2.2** Rangkaian ekuivalen dari jaringan dua bus seimbang<sup>[3]</sup>

Dengan memisahkan bagian *real* dan imajiner dari persamaan (2.2) menghasilkan :

$$\begin{aligned} W_{real}(\delta_{ij}, V_j) &= [P_j R_{ij} + Q_j X_{ij}] = V_i V_j \cos \delta_{ij} - (V_j)^2 \\ W_{imag}(\delta_{ij}, V_j) &= [P_j R_{ij} - Q_j X_{ij}] = V_i V_j \sin \delta_{ij} \end{aligned} \quad (2.3)$$

Dimana  $\delta_{ij} = \delta_i - \delta_j$ . Tegangan  $V_j$  dihitung dengan mengkuadratkan dan menambahkan bagian real dan imajiner dari persamaan (2.3) didapatkan :

$$V_j^4 + 2(P_j R_{ij} + Q_j X_{ij} - 0.5 V_i^2) V_j^2 + (P_j^2 + Q_j^2)(R_{ij}^2 + X_{ij}^2) = 0 \quad (2.4)$$

Dari persamaan (2.4) diperoleh nilai  $V_j$  sebagai berikut :

$$V_j = \pm \sqrt{\frac{1}{2} \left[ -b \pm \sqrt{b^2 - 4c} \right]} \quad (2.5)$$

Dimana  $b = -(V_i^2 - 2P_j R_{ij} - 2Q_j X_{ij})$  dan  $c = (P_j^2 + Q_j^2)(R_{ij}^2 + X_{ij}^2)$ . Namun,  $-b$  selalu positif karena nilai  $(-2P_j R_{ij} - 2Q_j X_{ij})$  sangat kecil jika dibandingkan dengan  $(V_i^2)$  dan juga  $4c$  lebih kecil jika dibandingkan dengan  $b^2$ . Oleh karena itu dari persamaan (2.5) akan didapatkan :

$$V_j = V_{j,base-load} = \pm \sqrt{\frac{1}{2} \left[ -b + \sqrt{b^2 - 4c} \right]} \quad (2.6)$$

Substitusi persamaan (2.6) ke persamaan (2.1) akan didapatkan :

$$VRI_j^{conventional} = \frac{V}{V_0} = \frac{\sqrt{(0.5 V_i^2 - P_j R_{ij} - Q_j X_{ij}) + A}}{V_i} \quad (2.7)$$

$$\text{Dimana } A = \sqrt{0.25(V_i^2 - 2P_j R_{ij} - 2Q_j X_{ij})^2 - (P_j^2 + Q_j^2)(R_{ij}^2 + X_{ij}^2)}$$

Sehingga indeks pada jaringan distribusi tiga fasa seimbang didefinisikan sebagai :



$$VRI_j^{balanced} = \frac{V_{j,collapse}}{V_{j,no-load}} \quad (2.8)$$

Untuk menghitung nilai VRI pada jaringan distribusi tiga fasa seimbang,  $V_{j,collapse}$  dapat dihitung berdasarkan studi aliran daya Newton-Raphson. Matrik Jacobian sesuai dengan persamaan (2.3) didefinisikan sebagai berikut :

$$J = \begin{bmatrix} -V_i V_j \sin \delta_{ij} & V_i V_j \cos \delta_{ij} - 2V_j \\ V_i V_j \cos \delta_{ij} & V_i \sin \delta_{ij} \end{bmatrix} \quad (2.9)$$

Pada titik *collapse*, Matrik Jacobian adalah tunggal oleh karena itu

$$\det(J) = 0, \quad \frac{V_j \cos \delta_{ij}}{V_i} = \frac{1}{2}, \quad V_{j,collapse} = \frac{0.5 V_j}{\cos \delta_{ij}} \quad (2.10)$$

Substitusi persamaan (2.6) dan (2.10) ke persamaan (2.8) maka akan didapatkan :

$$VRI_j^{balanced} = \frac{V_{j,collapse}}{V_{j,no-load}} = \frac{0.5}{\cos \delta_{ij}} \quad (2.11)$$

Dimana sudut  $\delta_{ij}$  dapat dihitung dari persamaan (2.12) berikut ini :

$$\delta_{ij} = \tan^{-1} \left( \frac{[P_j X_{ij} - Q_j R_{ij}]}{[P_j R_{ij} + Q_j X_{ij}] + (V_j)^2} \right) \quad (2.12)$$

Untuk memperluas definisi VRI pada jaringan *multiphase*, komponen simetris diterapkan pada tegangan tiga fasa yang dihasilkan dari studi aliran daya tiga fasa. Indeks baru yang diaplikasikan pada jaringan *multiphase* didefinisikan sebagai rasio tegangan urutan positif pada titik *collapse* terhadap tegangan urutan positif pada kondisi tanpa beban.

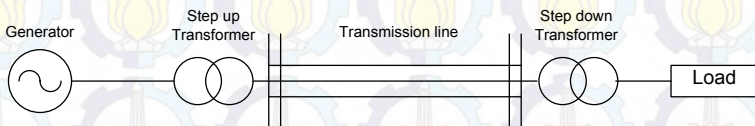
$$VRI_j^{multiphase} = \frac{V_{j,collapse}^+}{V_{j,no-load}^+} \quad (2.13)$$



Persamaan (2.13) dapat digunakan untuk mengidentifikasi bus terlemah pada jaringan *multiphase* seimbang dan jaringan *multiphase* tidak seimbang. Dimana pada *node* atau bus dengan nilai VRI terendah diklasifikasikan sebagai bus terlemah [3].

## 2.4 Sistem Tenaga Listrik Tiga Fasa

Sistem jaringan listrik yang terpasang di Indonesia merupakan jaringan listrik tiga fasa yang disalurkan oleh produsen listrik, dalam hal ini PLN, ke konsumen listrik yakni rumah tangga dan industri. Secara umum sistem tenaga listrik terbagi ke dalam beberapa bagian yakni pembangkitan, penyaluran (transmisi) dan beban. Berikut skema suatu sistem tenaga listrik tiga fasa.



**Gambar 2.3** Skema sistem tenaga listrik

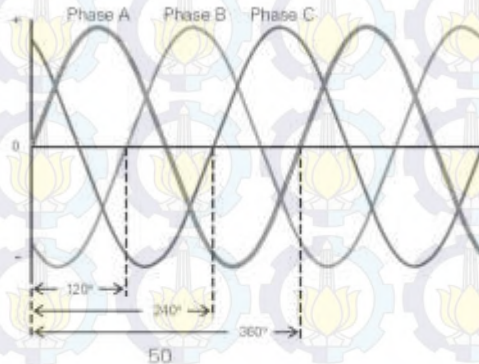
Generator akan membangkitkan daya listrik yang akan disalurkan dalam bentuk daya listrik tiga fasa. Pada sistem transmisi dibutuhkan daya yang besar, karena pada sistem transmisi ada kerugian daya yang disebabkan oleh faktor jarak pada saluran. Karena itu, untuk mengurangi kerugian daya tersebut tegangan akan dinaikkan menggunakan *step-up transformer* menjadi tegangan tinggi atau tegangan ekstra tinggi. Agar dapat digunakan oleh konsumen, sebelum didistribusikan, tegangan kembali diturunkan menjadi 380/220 V menggunakan *step-down transformer*. Daya yang diterima oleh konsumen adalah daya listrik arus bolak-balik tiga fasa. Untuk industri daya yang digunakan adalah daya listrik tiga fasa, sedangkan untuk rumah tangga daya yang digunakan adalah daya listrik satu fasa.

### 2.4.1 Rangkaian Listrik Tiga Fasa

Rangkaian listrik tiga fasa merupakan rangkaian listrik yang memiliki tiga keluaran simetris dan memiliki perbedaan sudut untuk setiap fasanya sebesar  $120^\circ$ . Gambar gelombang tegangan tiga fasa dapat dilihat pada gambar 2.4.

Pada gambar 2.4 dapat dilihat bahwa setiap fasa memiliki perbedaan sudut dan jika tegangan phase A diasumsikan sebagai tegangan referensi

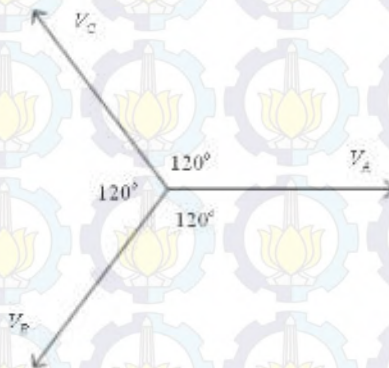
( $V_m$ ) maka akan didapatkan hubungan tegangan untuk masing-masing fasa sebagai berikut :



**Gambar 2.4** Gelombang tegangan tiga fasa

$$\begin{aligned} V_A &= V_m \angle 0^\circ \\ V_B &= V_m \angle -120^\circ \\ V_C &= V_m \angle 120^\circ \end{aligned} \quad (2.14)$$

Dari persamaan (2.14) maka diagram fasor dari tegangan tiga fasa seperti pada gambar 2.5.



**Gambar 2.5** Diagram fasor tegangan tiga fasa

Arus yang mengalir pada setiap beban dinyatakan sebagai :

$$I = \frac{V}{R} \quad (2.15)$$

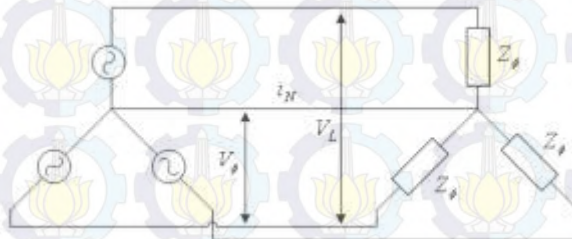
Dimana pada ketiga fasanya dapat dituliskan :

$$\begin{aligned} I_A &= \frac{V_{\angle 0^\circ}}{Z_{\angle \theta}} \\ I_B &= \frac{V_{\angle -120^\circ}}{Z_{\angle \theta}} = I_M \angle (-120^\circ - \theta) \\ I_C &= \frac{V_{\angle 120^\circ}}{Z_{\angle \theta}} = I_M \angle (-240^\circ - \theta) \end{aligned} \quad (2.16)$$

Pada rangkaian 3 fasa terdapat dua jenis hubungan yaitu hubung bintang dan hubung delta. Rangkaian 3 fasa hubung delta menggunakan 3 kawat fasa sedangkan pada rangkaian 3 fasa hubung bintang menggunakan 4 kawat (3 kawat fasa dan 1 kawat netral). Arus netral pada rangkaian hubung bintang merupakan titik hubung antara ketiga fasanya. Arus netral ( $I_n$ ) merupakan penjumlahan ketiga arus fasanya karena saluran netral tersebut dilalui oleh ketiga fasa yang ada, menurut persamaan (2.17) berikut :

$$I_n = I_A + I_B + I_C \quad (2.17)$$

Persamaan (2.17) di atas menunjukkan jika beban yang diaplikasikan dalam suatu tegangan tiga fasa seimbang, maka arus netralnya sama dengan nol karena simetris dan saling meniadakan. Arus netral muncul akibat pembebanan yang tidak seimbang. Pada gambar 2.6 adalah rangkaian sumber tiga fasa hubung bintang (Y) yang terhubung dengan beban hubung bintang (Y) dan disebut dengan rangkaian hubungan Y-Y.



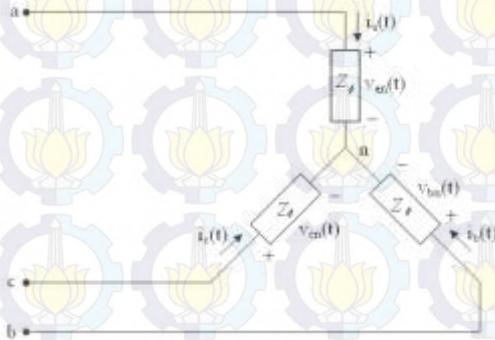
**Gambar 2.6** Rangkaian hubungan Y-Y



### 2.4.2 Daya pada Rangkaian Listrik Tiga Fasa

Suatu rangkaian beban tiga fasa hubungan bintang (Y) pada gambar 2.7 dengan impedansi fasa  $Z_\phi = Z \angle \theta^\circ$  bila dihubungkan dengan tegangan listrik tiga fasa akan didapatkan tegangan tiap fasa sebagai berikut :

$$\begin{aligned} V_{an}(t) &= \sqrt{2} V \sin \omega t \\ V_{bn}(t) &= \sqrt{2} V \sin(\omega t - 120^\circ) \\ V_{cn}(t) &= \sqrt{2} V \sin(\omega t - 240^\circ) \end{aligned} \quad (2.18)$$



**Gambar 2.7** Rangkaian beban hubungan Y seimbang

Dan dengan persamaan 2.15 maka arus tiga fasa menjadi :

$$\begin{aligned} I_a(t) &= \sqrt{2} I \sin(\omega t - \theta) \\ I_b(t) &= \sqrt{2} I \sin(\omega t - 120^\circ - \theta) \\ I_c(t) &= \sqrt{2} I \sin(\omega t - 240^\circ - \theta) \end{aligned} \quad (2.19)$$

Daya aktif (P) setiap fasa dinyatakan dalam persamaan :

$$P(t) = V(t)I(t) \quad (2.20)$$

Sehingga daya aktif (P) yang disuplai untuk jaringan sistem tiga fasa adalah :

$$\begin{aligned} P_a(t) &= 2VI \sin(\omega t) \sin(\omega t - \theta) \\ P_b(t) &= 2VI \sin(\omega t - 120^\circ - \theta) \sin(\omega t - 120^\circ - \theta) \\ P_c(t) &= 2VI \sin(\omega t - 240^\circ - \theta) \sin(\omega t - 240^\circ - \theta) \end{aligned} \quad (2.21)$$

Dengan menggunakan persamaan identitas trigonometri didapatkan :

$$\sin \alpha \sin \beta = \frac{1}{2} [\cos(\alpha - \beta) - \cos(\alpha + \beta)] \quad (2.22)$$



Dari persamaan (2.22) disubstitusikan ke persamaan (2.21) maka diperoleh :

$$\begin{aligned} P_a(t) &= VI[\cos\theta - \cos \sin(2\omega t - \theta)] \\ P_b(t) &= VI[\cos\theta - \cos \sin(2\omega t - 240^\circ - \theta)] \\ P_c(t) &= VI[\cos\theta - \cos \sin(2\omega t - 480^\circ - \theta)] \end{aligned} \quad (2.23)$$

Daya yang disalurkan pada jaringan sistem tiga fasa sama dengan jumlah daya pada ketiga fasanya. Dari persamaan (2.23) dapat diperoleh daya masing-masing fasa terdiri dari komponen konstan dan komponen pulsa (yang berosilasi). Komponen pulsa masing-masing fasa berbeda  $120^\circ$  , sehingga penjumlahan daya ketiga fasa ini akan menghilangkan komponen pulsa dan diperoleh penjumlahan ketiga komponen konstan yang identik sebagai berikut :

$$P_{Total}(t) = P_a(t) + P_b(t) + P_c(t) = 3VI \cos\theta \quad (2.24)$$

Persamaan daya diatas dapat ditulis sebagai persamaan berikut<sup>[1]</sup> :

$$S = 3V_\phi I_\phi = 3I_\phi^2 Z \quad (2.25)$$

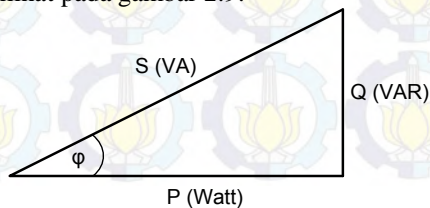
$$P = 3V_\phi I_\phi \cos\theta = 3I_\phi^2 Z \cos\theta \quad (2.26)$$

$$Q = 3V_\phi I_\phi \sin\theta = 3I_\phi^2 Z \sin\theta \quad (2.27)$$

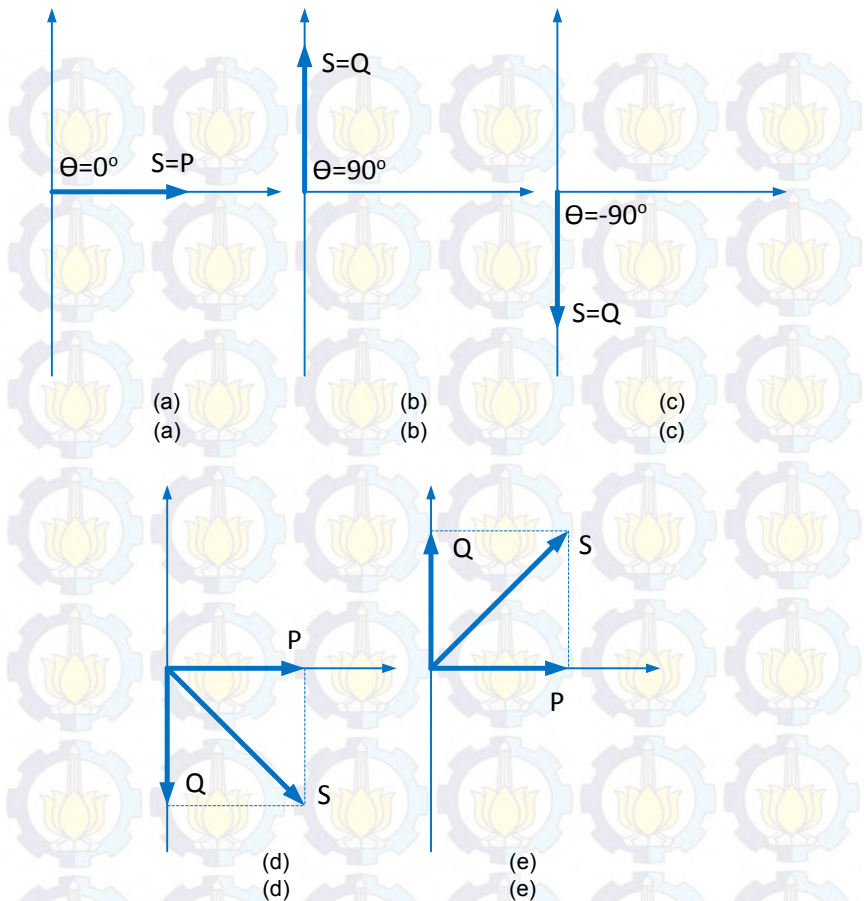
Dalam hubungan :

$$\begin{aligned} S &= P + jQ \\ P &= S \cos\theta \\ Q &= S \sin\theta \end{aligned} \quad (2.28)$$

Dimana S adalah daya total dalam satuan VA, P adalah daya aktif dalam satuan Watt, dan Q adalah daya reaktif dalam satuan VAR. Tiga daya tersebut saling berhubungan sehingga membentuk segitiga daya seperti pada gambar 2.8 dan untuk diagram fasor daya berdasarkan beban totalnya dapat dilihat pada gambar 2.9.



**Gambar 2.8** Segitiga daya



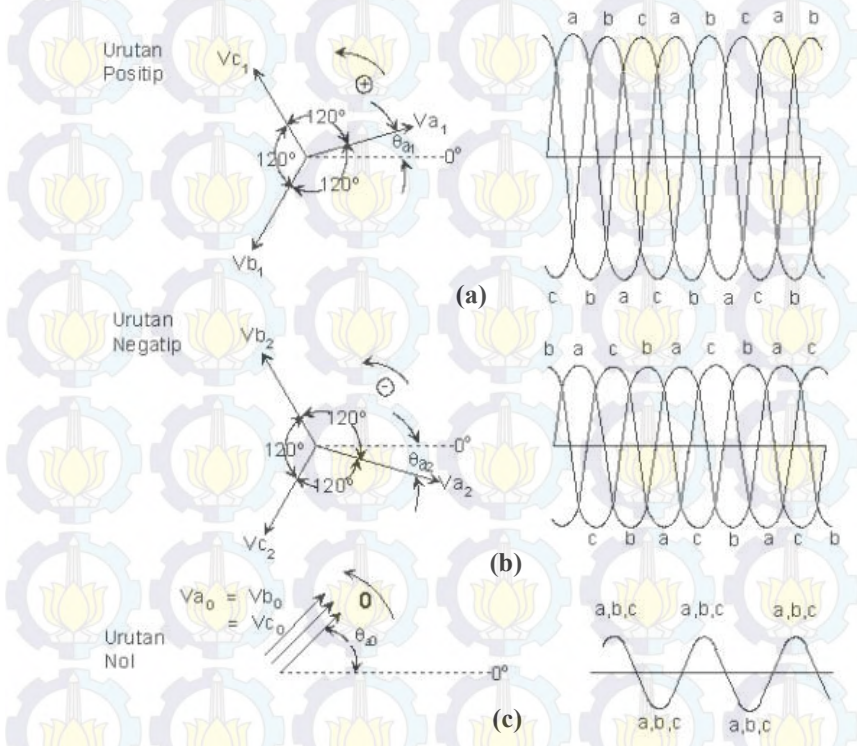
**Gambar 2.9** Diagram fasor dalam grafik P-Q untuk, (a) beban resistif murni, (b) beban induktif murni, (c) beban kapasitif murni, (d) beban induktif resistif, (e) beban kapasitif resistif

### 2.4.3 Komponen Simetris

Pada kondisi aktual jaringan sistem tiga fasa memiliki beban tidak seimbang. Sistem tiga fasa yang tidak seimbang ini dapat diuraikan menjadi tiga komponen simetris untuk memudahkan analisis, yaitu :

1. Komponen urutan positif (*positive sequence*), yang fasornya sama besar dan mempunyai beda fasa  $120^\circ$ , serta urutan fasanya sama dengan urutan fasa aslinya.
2. Komponen urutan negatif (*negative sequence*), yang fasornya sama besar dan mempunyai beda fasa  $120^\circ$ , tetapi urutan fasanya berlawanan dengan urutan fasa aslinya.
3. Komponen urutan nol (*zero sequence*), yang fasornya sama besar dan dengan pergeseran fasa nol antara fasor yang satu dengan yang lain.

Berikut gambar 2.9 adalah diagram fasor dari komponen simetris tegangan yang diuraikan menjadi tiga komponen simetris.

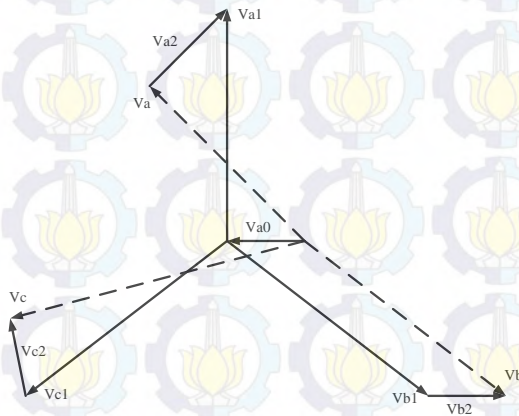


**Gambar 2.10** Komponen simetris tegangan dari sistem tiga fasa tidak seimbang, (a) urutan positif, (b) urutan negatif, (c) urutan nol<sup>[3]</sup>



Notasi yang digunakan pada komponen simetris tersebut biasanya diberikan subskrip 1, 2 dan 0 pada komponen arus dan tegangannya. Jadi, komponen urutan positif dari tegangan  $V_a$ ,  $V_b$  dan  $V_c$  adalah  $V_{a1}$ ,  $V_{b1}$  dan  $V_{c1}$ , komponen urutan negatifnya adalah  $V_{a2}$ ,  $V_{b2}$  dan  $V_{c2}$ , serta komponen urutan nolnya adalah  $V_{a0}$ ,  $V_{b0}$  dan  $V_{c0}$ . Persamaan tegangan sistemnya merupakan penjumlahan dari masing-masing komponen simetrisnya, yaitu :

$$\begin{aligned} V_a &= V_{a1} + V_{a2} + V_{a0} \\ V_b &= V_{b1} + V_{b2} + V_{b0} \\ V_c &= V_{c1} + V_{c2} + V_{c0} \end{aligned} \quad (2.29)$$



**Gambar 2.11** Tegangan sistem sebagai penjumlahan dari komponen simetris

Dari gambar 2.10 didapatkan hubungan antara komponen-komponen simetrisnya, yaitu :

$$\begin{aligned} \vec{V}_a &= \vec{V}_{a0} + \vec{V}_{a1} + \vec{V}_{a2} \\ \vec{V}_b &= \vec{V}_{b0} + \vec{V}_{b1} + \vec{V}_{b2} \\ \vec{V}_c &= \vec{V}_{c0} + \vec{V}_{c1} + \vec{V}_{c2} \end{aligned} \quad (2.30)$$

Dengan operator  $a = 1 \angle 120^\circ = -0,5 + j0,866$  dan  $a^2 = 1 \angle 240^\circ = 1 \angle -120^\circ = -0,5 - j0,866$ , maka didapatkan persamaan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \vec{V}_a &= \vec{V}_{a0} + \vec{V}_{a1} + \vec{V}_{a2} \\ \vec{V}_b &= \vec{V}_{a0} + a^2 \vec{V}_{a1} + a \vec{V}_{a2} \\ \vec{V}_c &= \vec{V}_{a0} + a \vec{V}_{a1} + a^2 \vec{V}_{a2} \end{aligned} \quad (2.31)$$

Dimana persamaan (2.31) dapat dinyatakan dalam bentuk matriks :

$$\begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{a0} \\ V_{a1} \\ V_{a2} \end{bmatrix} \quad (2.32)$$

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix}, \text{ maka } A^{-1} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix}$$

Dengan mengalikan matriks tersebut dengan matriks *invers*-nya ( $A^{-1}$ ) maka diperoleh :

$$\begin{bmatrix} V_{a0} \\ V_{a1} \\ V_{a2} \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} \quad (2.33)$$

Sehingga, hubungan antara komponen simetris dan tegangan sistemnya dapat dituliskan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} V_{a0} &= \frac{1}{3} (V_a + V_b + V_c) \\ V_{a1} &= \frac{1}{3} (V_a + aV_b + a^2V_c) \\ V_{a2} &= \frac{1}{3} (V_a + a^2V_b + aV_c) \end{aligned} \quad (2.34)$$

Komponen urutan nol tidak terdapat dalam sistem tenaga listrik apabila sistem seimbang. Pada sistem tiga fasa yang tidak seimbang, pada kabel netralnya dapat mengandung komponen urutan nol. Persamaan tegangan tersebut berlaku juga pada persamaan arus dengan menggunakan matriks A dan  $A^{-1}$  yang dinyatakan sebagai berikut :

$$\begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{a0} \\ I_{a1} \\ I_{a2} \end{bmatrix} \quad (2.35)$$

$$\begin{bmatrix} I_{a0} \\ I_{a1} \\ I_{a2} \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix} \quad (2.36)$$

Pada sistem 3 fasa dengan netral diketanahkan, jumlah arus saluran sama dengan arus  $I_n$  yang mengalir melalui netral ke ground, maka

$$I_a + I_b + I_c = I_n \quad (2.37)$$

Dari persamaan (2.35) didapatkan nilai  $I_{abc}$  sebagai berikut :

$$\begin{aligned} I_a &= I_{a0} + I_{a1} + I_{a2} \\ I_b &= I_{a0} + a^2 I_{a1} + a I_{a2} \\ I_c &= I_{a0} + a I_{a1} + a^2 I_{a2} \end{aligned} \quad (2.38)$$

Arus netral yang mengalir adalah jumlah arus yang mengalir pada setiap fasanya. Jadi, berdasarkan persamaan (2.37) dan persamaan (2.38) maka persamaan arus netralnya dapat dituliskan menjadi :

$$I_n = 3I_{a0} \quad (2.39)$$

Untuk beban atau belitan transformator yang terhubung delta dimana tidak terdapat saluran netral, maka arus tidak mengandung komponen urutan nol <sup>[5]</sup>.



### BAB III

## PERENCANAAN SISTEM DAN PERANCANGAN PROGRAM

Dalam tugas akhir ini menggunakan dua penyulang sistem distribusi tiga fasa PT. PLN APJ Surabaya Utara yaitu penyulang Kapas Kerampung 27 bus dan penyulang Mulyosari 68 bus. Analisis kestabilan tegangan dilakukan untuk mendapatkan lokasi pemasangan kapasitor pada masing-masing penyulang tersebut sehingga level tegangan setiap busnya dapat dipertahankan atau tetap stabil ketika ada kenaikan beban. Langkah-langkah dalam perencanaan sistem dan perancangan program untuk mendapatkan data yang akan dianalisa adalah pengumpulan data, simulasi *load flow* menggunakan metode *Network Topology*, penentuan lokasi penempatan kapasitor menggunakan metode *Positive Sequence Voltage Ranking Index (PS-VRI)*, dan menentukan besar kapasitor yang terpasang untuk menaikkan level tegangan.



**Gambar 3.1** Blok diagram sistem keseluruhan

Penentuan lokasi pemasangan kapasitor menggunakan metode *Positive Sequence Voltage Ranking Index (PS-VRI)* dimana metode ini digunakan untuk menentukan ranking atau peringkat masing-masing bus

mulai dari bus terlemah (tidak stabil) hingga bus yang paling stabil. *Ranking Index (RI)* didapatkan dari persamaan (2.7) pada bab sebelumnya.

$$VRI_j^{conventional} = \frac{V}{V_0} = \frac{\sqrt{(0.5 V_i^2 - P_j R_{ij} - Q_j X_{ij}) + A}}{V_i}$$

$$\text{Dimana } A = \sqrt{0.25(V_i^2 - 2P_j R_{ij} - 2Q_j X_{ij})^2 - (P_j^2 + Q_j^2)(R_{ij}^2 + X_{ij}^2)}$$

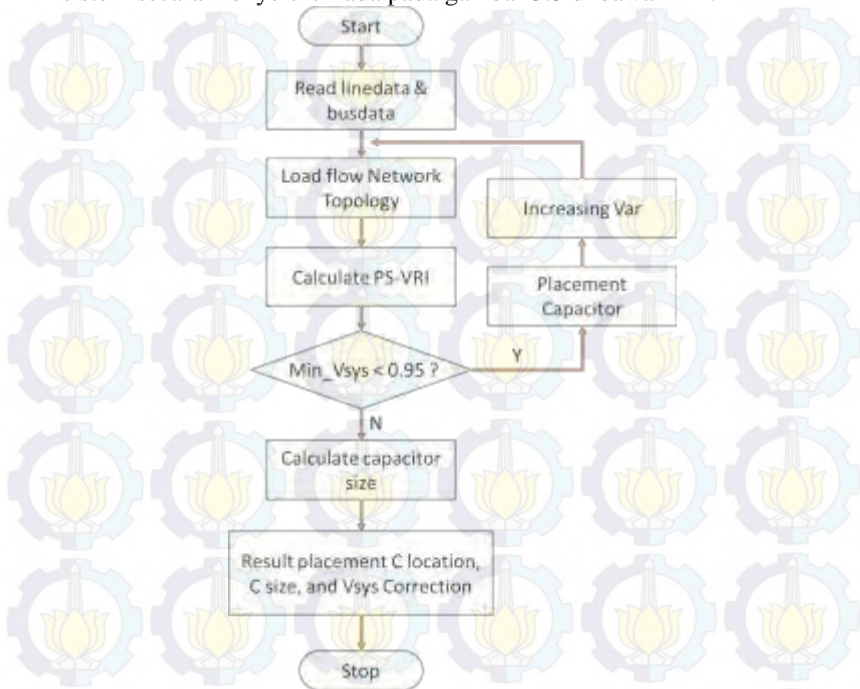
Parameter yang digunakan dalam perhitungan PS-VRI di atas diperoleh dari hasil *load flow* untuk mendapatkan parameter tersebut dalam bentuk *positive sequence*. Sehingga PS-VRI yang diperoleh merupakan ranking dari bus tiga fasa beban tidak seimbang yang diwakili oleh satu ranking saja.



**Gambar 3.2** Kelebihan metode PS-VRI

Karena untuk satu bus tiga fasa tidak seimbang diwakili oleh satu ranking indeks, maka untuk memperbaiki level tegangan pada bus yang nilai ranking indeksnya paling rendah (tidak stabil) cukup dengan meletakkan kapasitor pada bus tersebut dengan nilai Var yang telah ditentukan. Dengan penggunaan metode *PS-VRI* ini, diharapkan dengan meletakkan kapasitor pada bus terlemah dapat meningkatkan level tegangan di semua

bus hingga nilai level tegangan yang telah ditentukan. Untuk *flowchart* sistem secara menyeluruh ada pada gambar 3.3 di bawah ini :



**Gambar 3.3** *Flowchart sistem*

Dari *flowchart* di atas menunjukkan langkah-langkah kerja dari sistem secara keseluruhan mulai dari pembacaan data hingga didapatkan nilai dan lokasi kapasitor. Untuk langkah pertama adalah pembacaan data dari data PT. PLN APJ Surabaya Utara yang telah ditentukan sebelumnya kemudian dilakukan analisis aliran daya pada data tersebut dengan menggunakan metode *network topology* untuk mendapatkan parameter sistem yang dibutuhkan. Setelah dilakukan *load flow*, perhitungan PS-VRI menggunakan komponen simetri sistem dilakukan untuk mendapatkan indeks dan ranking masing-masing bus. Dari indeks dan ranking tersebut akan dihitung besar kapasitor yang harus dipasang pada lokasi yang telah ditentukan.



### 3.1 Pengumpulan Data

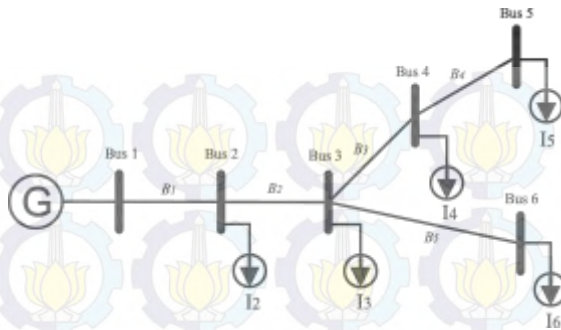
Data yang digunakan dalam tugas akhir ini adalah data jaringan sistem distribusi tiga fasa PT. PLN APJ Surabaya Utara yaitu Penyulang Kapas Kerampung 27 bus dan Penyulang Mulyosari 68 bus. Data tersebut diperoleh dari data PT. PLN dan akan dilakukan analisis kestabilan tegangan pada kedua penyulang tersebut untuk mengetahui bus terlemah ketika terjadi kenaikan beban. Sehingga dapat dilakukan perbaikan level tegangan pada penyulang tersebut dengan cara memasang kapasitor pada bus terlemah dengan ukuran yang telah ditentukan. Berikut data penyulang Kapas Kerampung pada lampiran 1 dan data Penyulang Mulyosari pada lampiran 2.

### 3.2 Analisis Aliran Daya

Analisis aliran daya menggunakan *software* MATLAB R2012b dengan melakukan perhitungan *load flow* metode *network topology*. Dari hasil *load flow* tersebut akan didapatkan nilai tegangan setiap fasa pada masing-masing bus. Nilai tegangan tersebut dihitung kembali untuk mendapatkan nilai komponen simetrisnya sehingga pada setiap bus akan diwakili oleh satu nilai yaitu komponen urutan positif (*positive sequence*). Tegangan urutan positif dari masing-masing bus akan dimodifikasi untuk mendapatkan ranking setiap bus dengan metode *Voltage Ranking Index (VRI)* sehingga akan didapatkan nilai indeks masing-masing bus yang menunjukkan tingkat stabilitas tegangannya. Jika nilai indeks semakin mendekati satu maka level tegangan pada bus tersebut semakin stabil. Sehingga metode ini disebut *Positive Sequence Voltage Ranking Index (PS-VRI)*.

Untuk langkah-langkah metode *network topology* dalam analisis aliran daya ada beberapa aturan yang digunakan sebagai penelusuran jalur untuk pembuatan matrik, yaitu:

- a. Bila  $k(i,j) = 1$ , jika cabang  $i$  berada pada jalur antara bus  $j$  dan bus referensi dan memiliki arah yang sama.
- b. Bila  $k(i,j) = -1$ , jika cabang  $i$  berada pada jalur antara bus  $j$  dan bus referensi dan memiliki arah yang berlawanan.
- c. Bila  $k(i,j) = 0$ , jika cabang  $i$  tidak berada pada jalur antara bus  $j$  dan bus referensi.



**Gambar 3.4** Single line sistem distribusi<sup>[7]</sup>

Berdasarkan aturan penelusuran jalur di atas, kita dapat membuat matriks pada contoh gambar 3.4 diatas sebagai berikut :

$$K - \text{Matriks} = \begin{matrix} & \begin{matrix} \text{bus2} & \text{bus3} & \text{bus4} & \text{bus5} & \text{bus6} \end{matrix} \\ \begin{matrix} B1 \\ B2 \\ B3 \\ B4 \\ B5 \end{matrix} & \begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 & -1 & -1 \\ 0 & -1 & -1 & -1 & -1 \\ 0 & 0 & -1 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

Dari persamaan matrik diatas akan didapat komponen matrik BIBC (*Bus Injection to Branch Current*) sebagai berikut :

$$[BIBC] = -[K - \text{matrik}]$$

$$[BIBC] = - \begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 & -1 & -1 \\ 0 & -1 & -1 & -1 & -1 \\ 0 & 0 & -1 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} B_1 \\ B_2 \\ B_3 \\ B_4 \\ B_5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_2 \\ I_3 \\ I_4 \\ I_5 \\ I_6 \end{bmatrix}$$

$$[B] = [BIBC][I]$$

(3.1)

Selanjutnya, untuk mencari matrik BCBV (*Branc Current To Branch Voltage*) terlebih dahulu mentranspose matrik BIBC sehingga terbentuk matrik yang berkolerasi dengan matrik BCBV.

$$BIBC' = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Kemudian matrik BIBC' jika dikalikan dengan matrik impedansi *full branch* secara per komponen maka akan didapat matrik BCBV.

$$BCBV = -[K - \text{matrik}]'. [ZF_{BR}]$$

$$BCBV = [BIBC]'. [ZF_{BR}]$$

$$BCBV = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} Z_{12} & Z_{23} & Z_{34} & Z_{45} & Z_{36} \\ Z_{12} & Z_{23} & Z_{34} & Z_{45} & Z_{36} \\ Z_{12} & Z_{23} & Z_{34} & Z_{45} & Z_{36} \\ Z_{12} & Z_{23} & Z_{34} & Z_{45} & Z_{36} \\ Z_{12} & Z_{23} & Z_{34} & Z_{45} & Z_{36} \end{bmatrix}$$

$$BCBV = \begin{bmatrix} Z_{12} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ Z_{12} & Z_{23} & 0 & 0 & 0 \\ Z_{12} & Z_{23} & Z_{34} & 0 & 0 \\ Z_{12} & Z_{23} & Z_{34} & Z_{45} & 0 \\ Z_{12} & Z_{23} & 0 & 0 & Z_{36} \end{bmatrix}$$

Sehingga, untuk mencari drop tegangan di tiap saluran pada metode *network topology* dapat disimpulkan sebagai formula sebagai berikut :

$$\begin{bmatrix} V_1 - V_2 \\ V_1 - V_3 \\ V_1 - V_4 \\ V_1 - V_5 \\ V_1 - V_6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{12} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ Z_{12} & Z_{23} & 0 & 0 & 0 \\ Z_{12} & Z_{23} & Z_{34} & 0 & 0 \\ Z_{12} & Z_{23} & Z_{34} & Z_{45} & 0 \\ Z_{12} & Z_{23} & 0 & 0 & Z_{36} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} B_1 \\ B_2 \\ B_3 \\ B_4 \\ B_5 \end{bmatrix}$$

$$[\Delta V] = [BCBV][B] \quad (3.2)$$

Susbtitusi persamaan (3.1) ke (3.2) maka didapatkan

$$[\Delta V] = [BCBV][BIBC][I] \quad (3.3)$$

$$[\Delta V] = [DLF][I] \quad (3.4)$$



Dalam analisa tiga fasa, dapat digunakan konfigurasi matrik dengan komposisi dimensi tiga kali dari dimensi matrik untuk analisa satu fasa. Komposisi tiap-tiap komponen untuk analisa tiga fasa dalam suatu matrik adalah sebagai berikut :

$$\begin{matrix} & \text{fasa a} & \text{fasa b} & \text{fasa c} \\ \begin{matrix} \text{fasa a} \\ \text{fasa b} \\ \text{fasa c} \end{matrix} & \begin{bmatrix} Z_{11} & Z_{21} & Z_{31} \\ Z_{12} & Z_{22} & Z_{32} \\ Z_{13} & Z_{23} & Z_{33} \end{bmatrix} \end{matrix}$$

Komponen matrik  $Z_{ij}$  merupakan impedansi akibat adanya *mutual impedance* antara fasa  $i$  dan  $j$ . Dari *load flow* tersebut akan didapatkan nilai tegangan setiap fasa pada masing-masing bus dalam kondisi tidak seimbang karena nilai beban pada masing-masing fasa juga tidak seimbang.

### 3.3 Positive Sequence Voltage Ranking Index (PS-VRI)

Setelah dilakukan *load flow* menggunakan metode *network topology* di atas, tegangan tiga fasa tidak seimbang tersebut diuraikan menjadi tiga phasor yang seimbang (*fortescue*) yaitu komponen urutan nol, urutan positif, dan urutan negatif. Dari persamaan (2.34) hubungan antara komponen simetris dan tegangan sistemnya adalah sebagai berikut :

$$V_{a0} = \frac{1}{3}(V_a + V_b + V_c)$$

$$V_{a1} = \frac{1}{3}(V_a + aV_b + a^2V_c)$$

$$V_{a2} = \frac{1}{3}(V_a + a^2V_b + aV_c)$$

Dan untuk persamaan arus simetrisnya adalah sebagai berikut :

$$I_{a0} = \frac{1}{3}(I_a + I_b + I_c)$$

$$I_{a1} = \frac{1}{3}(I_a + aI_b + a^2I_c)$$

$$I_{a2} = \frac{1}{3}(I_a + a^2I_b + aI_c)$$

Dengan operator  $a = 1 \angle 120^\circ = -0,5 + j0,866$  dan  $a^2 = 1 \angle 240^\circ = 1 \angle -120^\circ = -0,5 - j0,866$ . Sehingga dengan diperolehnya komponen simetris

tegangan dan arus, maka daya S dapat dihitung dengan persamaan daya sebagai berikut :

$$S = P + jQ = V_a I_a^* + V_b I_b^* + V_c I_c^*$$

Karena tegangan dan arus sistem tidak seimbang, maka daya S dihitung dengan menggunakan komponen simetris tegangan dan arus dari persamaan (2.34) dan (2.36). Sehingga didapatkan persamaan :

$$S = [V_{a0} \quad V_{a1} \quad V_{a2}] \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{a0} \\ I_{a1} \\ I_{a2} \end{bmatrix}^*$$

$$S = 3[V_{a0} \quad V_{a1} \quad V_{a2}] \begin{bmatrix} I_{a0} \\ I_{a1} \\ I_{a2} \end{bmatrix}^*$$

$$S = V_a I_a^* + V_b I_b^* + V_c I_c^* = 3V_{a0} I_{a0}^* + 3V_{a1} I_{a1}^* + 3V_{a2} I_{a2}^*$$

Setelah diperoleh besar daya S, maka daya P dan Q bisa didapatkan dari persamaan  $S = P + jQ$ . Sehingga parameter yang digunakan dalam perhitungan PS-VRI telah didapatkan dan dapat dimasukkan dalam persamaan (2.7) yaitu :

$$VRI_j^{conventional} = \frac{V}{V_0} = \sqrt{\frac{(0.5 V_i^2 - P_j R_{ij} - Q_j X_{ij}) + A}{V_i}}$$

$$\text{Dimana } A = \sqrt{0.25(V_i^2 - 2P_j R_{ij} - 2Q_j X_{ij})^2 - (P_j^2 + Q_j^2)(R_{ij}^2 + X_{ij}^2)}$$

Sehingga ranking setiap bus pada sistem jaringan distribusi tiga fasa tidak seimbang bisa ditentukan dari indeks PS-VRI tersebut.

### 3.4 Placement and Sizing Capacitor

Dari indeks PS-VRI yang diperoleh, nilai indeks yang paling rendah adalah ranking pertama karena level tegangannya paling tidak stabil. Bus yang indeks PS-VRI paling rendah atau peringkat pertama adalah lokasi penempatan kapasitor untuk menaikkan level tegangan pada bus tersebut

sehingga diharapkan level tegangan seluruh sistem akan mengalami kenaikan dan sistem akan stabil kembali. Setelah lokasi kapasitor ditentukan, selanjutnya adalah menghitung besar nilai kapasitor yang terpasang untuk menaikkan level tegangan sistem hingga level tegangan minimum lebih besar dari 0.95 pu ( $> 0.95$  pu).

Metode yang digunakan dalam perhitungan besar nilai kapasitor tersebut adalah *lamda iteration* dimana setiap iterasi akan ada penambahan atau pengurangan daya reaktif yang diinjeksikan ke bus yang telah ditentukan, sehingga didapatkan nilai lamda pada level tegangan sistem 0.95 pu. Setelah didapatkan nilai lamda dan besar daya reaktif yang harus diinjeksikan ( $X_C$ ), maka nilai kapasitor dapat dihitung melalui persamaan berikut ini :

$$S = \frac{V^2}{Z} = \frac{V^2}{\frac{1}{2\pi fC}}$$
$$S = V^2 \cdot 2\pi fC$$

Dengan asumsi  $S = Q$  atau daya reaktif yang dibutuhkan, sehingga  $Z = X_C$  atau reaktansi saluran. Sehingga didapatkan nilai kapasitor sebagai berikut :

$$C = \frac{S}{V^2 \cdot 2\pi f} \quad (3.5)$$





*--- Halaman ini sengaja dikosongkan ---*

## **BAB IV**

### **SIMULASI DAN ANALISA DATA**

Dalam bab ini membahas tentang hasil simulasi serta analisis data yang berhubungan dengan stabilitas tegangan berdasarkan studi aliran daya tiga fasa tidak seimbang dengan metode *Positive Sequence Voltage Ranking Index (PS-VRI)* pada sistem jaringan distribusi PT. PLN APJ Surabaya Utara yaitu Penyulang Mulyosari 68 bus dan Penyulang Kapas Kerampung 27 bus. Simulasi dilakukan untuk memperoleh indeks kestabilan pada setiap bus sehingga bisa didapatkan ranking atau peringkat kestabilannya dalam satu sistem. Dari ranking tersebut dapat diketahui bahwa ranking teratas adalah nilai indeks yang paling kecil atau kurang dari satu ( $< 1$ ) sehingga bus tersebut sangat kritis atau terlemah. Setelah diketahui bus yang kritis, penempatan kapasitor pada bus tersebut dapat dilakukan untuk memperbaiki level tegangan sistem hingga diatas 0.95 pu (drop tegangan  $\leq 5\%$ ) sehingga indeks kestabilan pada setiap bus juga akan naik hingga di atas 0.8445. Hal tersebut berdasarkan standar Permen ESDM No. 04 2009 [8] dan IEEE [9] tentang batas-batas kondisi normal dari tegangan sistem distribusi yaitu maksimal +5% dan minimal -10% dari tegangan nominalnya.

#### **4.1 Hasil Simulasi**

*Software* MATLAB R2012b digunakan untuk melakukan simulasi aliran daya hingga penentuan lokasi penempatan kapasitor dan dari hasil simulasi tersebut akan didapat data ranking indeks setiap bus, data level tegangan sistem tanpa kapasitor, serta data perubahan ranking indeks dan level tegangan sistem setelah menggunakan kapasitor. Pada awal sebelum pemasangan kapasitor, drop tegangan pada masing-masing bus lebih besar dari 10% ( $\geq 10\%$ ). Dengan data yang diperoleh dari simulasi tersebut, nilai kapasitor dan lokasi pemasangannya dapat ditentukan berdasarkan ranking indeks. Sehingga setelah dilakukan pemasangan kapasitor, drop tegangan pada masing-masing bus berkurang hingga lebih kecil dari 5% ( $\leq 5\%$ ). Dengan berkurangnya drop tegangan pada setiap bus, maka level tegangan pada setiap bus akan naik hingga di atas 0.95 pu dan indeks kestabilan masing-masing bus juga akan naik hingga 0.8445.

#### 4.1.1 Penyulang Kapas Kerampung 27 Bus

Pada penyulang Kapas Kerampung ini terdiri dari 27 bus dengan konfigurasi sistem 3 fasa radial tipe pohon dan beban yang terpasang pada 26 bus (bus 1 sebagai bus sumber). Data beban dan saluran dari penyulang Kapas Kerampung dapat dilihat pada lampiran 1. Pada tabel 4.1 di bawah ini menunjukkan hasil simulasi *load flow* tiga fasa dengan metode *positive sequence* untuk mendapatkan *ranking index* setiap busnya.

**Tabel 4.1** Hasil *load flow* penyulang Kapas Kerampung sebelum pemasangan kapasitor

No. Bus	Ranking Index (VRI)	Voltage System (p.u)	Ranking VRI (No. Bus)	Ranking Vsystem (No. Bus)	Voltage Drop (%)
1	1.00000	0.99999	22	22	0.00000
2	0.84477	0.95426	27	27	4.57291
3	0.83975	0.94099	26	26	5.89981
4	0.84557	0.95334	25	25	4.66432
5	0.84541	0.95294	24	24	4.70495
6	0.84539	0.95290	23	23	4.70818
7	0.82975	0.91919	21	21	8.07989
8	0.83918	0.93903	20	20	6.09605
9	0.83872	0.93792	19	19	6.20616
10	0.83869	0.93781	18	18	6.21776
11	0.83846	0.93731	17	17	6.26735
12	0.82479	0.90758	16	16	9.24064
13	0.82470	0.90673	15	15	9.32549
14	0.82464	0.90657	14	14	9.34167
15	0.82452	0.90631	13	13	9.36752
16	0.81607	0.88886	12	12	11.11223
17	0.81593	0.88750	7	7	11.24873
18	0.81581	0.88718	11	11	11.28052



No. Bus	Ranking Index (VRI)	Voltage System (p.u)	Ranking VRI (No. Bus)	Ranking Vsystem (No. Bus)	Voltage Drop (%)
19	0.81578	0.88710	10	10	11.28880
20	0.80757	0.87036	9	9	12.96225
21	0.80635	0.86681	8	8	13.31792
22	<b>0.80290</b>	<b>0.85959</b>	3	3	<b>14.03979</b>
23	0.80600	0.86590	2	6	13.40855
24	0.80550	0.86482	6	5	13.51651
25	0.80509	0.86394	5	4	13.60509
26	0.80501	0.86373	4	2	13.62605
27	<b>0.80497</b>	<b>0.86362</b>	1	1	<b>13.63664</b>

Dari data hasil simulasi di atas, dilakukan simulasi dengan pemasangan kapasitor pada tiga lokasi yang berbeda untuk membandingkan besar kapasitor yang harus dipasang sehingga level tegangan sistemnya naik hingga 0.95 pu. Untuk lokasi pemasangannya sebagai berikut :

1. Pada bus 27 yang merupakan bus terakhir atau paling ujung dari penyulang Kapas Kerampung.
2. Pada bus 18 yang merupakan bus 2/3 dari GI atau sumber utama.
3. Pada bus 22 yang memiliki indeks kestabilan paling rendah (0.80290).

Untuk lokasi yang pertama, hasil simulasi dapat dilihat pada tabel 4.2 di bawah ini :

**Tabel 4.2** *Data kenaikan level tegangan penyulang Kapas Kerampung setelah pemasangan kapasitor pada bus 27*

No. Bus	Ranking Index (VRI)	Voltage System (p.u)	Ranking VRI (No. Bus)	Ranking Vsystem (No. Bus)	Voltage Drop (%)
1	1.00000	0.99999	27	27	0.00000
2	0.85650	0.97985	26	26	2.01364
3	0.85504	0.97455	25	25	2.54387

No. Bus	Ranking Index (VRI)	Voltage System (p.u)	Ranking VRI (No. Bus)	Ranking Vsystem (No. Bus)	Voltage Drop (%)
4	0.85707	0.97896	24	24	2.10225
5	0.85691	0.97857	23	23	2.14150
6	0.85690	0.97854	20	21	2.14486
7	0.85195	0.96701	21	22	3.29795
8	0.85445	0.97266	19	20	2.73254
9	0.85401	0.97160	18	19	2.83841
10	0.85398	0.97149	17	18	2.84956
11	0.85377	0.97101	16	17	2.89724
12	0.85079	0.96329	22	16	3.66931
13	0.85066	0.96250	15	15	3.74849
14	0.85061	0.96235	14	14	3.76359
15	0.85051	0.96211	13	13	3.78771
16	0.84919	0.95864	12	12	4.13457
17	0.84898	0.95739	7	7	4.25930
18	0.84888	0.95710	11	11	4.28835
19	0.84885	0.95703	10	10	4.29591
20	0.84861	0.95557	9	9	4.44177
21	0.84884	0.95508	8	8	4.49042
22	0.84932	0.95535	3	3	4.46359
23	0.84853	0.95428	2	6	4.57081
24	0.84812	0.95332	6	5	4.66658
25	0.84779	0.95253	5	4	4.74515
26	0.84773	0.95235	4	2	4.76374
27	<b>0.84769</b>	<b>0.95225</b>	1	1	<b>4.77314</b>

Untuk dapat menaikkan level tegangan sistem hingga di atas 0.95 pu, kapasitor yang harus dipasang pada bus 27 sebesar 19.23152 kVar 0.06125 Farad.

Untuk lokasi pemasangan kapasitor pada bus 18, hasil simulasi dapat dilihat pada tabel 4.3 di bawah ini :

**Tabel 4.3** Data kenaikan level tegangan penyulang Kapas Keramping setelah pemasangan kapasitor pada bus 18

No. Bus	Ranking Index (VRI)	Voltage System (p.u)	Ranking VRI (No. Bus)	Ranking Vsystem (No. Bus)	Voltage Drop (%)
1	1.00000	0.99999	27	27	0.00000
2	0.85632	0.97945	26	26	2.05359
3	0.85480	0.97402	25	25	2.59626
4	0.85689	0.97856	24	24	2.14224
5	0.85673	0.97817	23	23	2.18151
6	0.85672	0.97814	20	21	2.18486
7	0.85160	0.96626	21	22	3.37265
8	0.85421	0.97214	19	20	2.78503
9	0.85377	0.97108	18	19	2.89095
10	0.85375	0.97096	17	18	2.90211
11	0.85353	0.97049	22	17	2.94981
12	0.85039	0.96242	16	16	3.75636
13	0.85026	0.96163	15	15	3.83561
14	0.85021	0.96148	14	14	3.85072
15	0.85010	0.96124	13	13	3.87486
16	0.84867	0.95755	12	12	4.24366
17	0.84846	0.95630	7	7	4.36855
<b>18</b>	<b>0.84836</b>	<b>0.95601</b>	11	11	<b>4.39763</b>
19	0.84834	0.95593	10	10	4.40520



No. Bus	Ranking Index (VRI)	Voltage System (p.u)	Ranking VRI (No. Bus)	Ranking Vsystem (No. Bus)	Voltage Drop (%)
20	0.84798	0.95424	9	9	4.57509
21	0.84818	0.95370	8	8	4.62857
22	0.84860	0.95385	3	3	4.61355
23	0.84788	0.95290	2	6	4.70910
24	0.84746	0.95194	6	5	4.80502
25	0.84713	0.95115	5	4	4.88372
26	0.84707	0.95096	4	2	4.90234
27	0.84703	0.95087	1	1	4.91176

Untuk dapat menaikkan level tegangan sistem hingga di atas 0.95 pu, kapasitor yang harus dipasang pada bus 18 sebesar 18.87283 kVar 0.06011 Farad.

Untuk lokasi pemasangan kapasitor pada bus 22, hasil simulasi dapat dilihat pada tabel 4.4 di bawah ini :

**Tabel 4.4** *Data kenaikan level tegangan penyulang Kapas Kerampung setelah pemasangan kapasitor pada bus 22*

No. Bus	Ranking Index (VRI)	Voltage System (p.u)	Ranking VRI (No. Bus)	Ranking Vsystem (No. Bus)	Voltage Drop (%)
1	1.00000	0.99999	27	27	0.00000
2	0.85624	0.97928	26	26	2.07012
3	0.85470	0.97381	25	25	2.61795
4	0.85682	0.97840	24	24	2.15878
5	0.85666	0.97801	23	23	2.19806
6	0.85664	0.97797	20	21	2.20142
7	0.85146	0.96595	21	22	3.40356
8	0.85411	0.97192	19	20	2.80676

No. Bus	Ranking Index (VRI)	Voltage System (p.u)	Ranking VRI (No. Bus)	Ranking Vsystem (No. Bus)	Voltage Drop (%)
9	0.85367	0.97086	18	19	2.91270
10	0.85365	0.97075	17	18	2.92386
11	0.85343	0.97027	22	17	2.97157
12	0.85022	0.96206	16	16	3.79238
13	0.85009	0.96127	15	15	3.87167
14	0.85004	0.96112	14	14	3.88678
15	0.84994	0.96088	13	13	3.91093
16	0.84846	0.95710	12	12	4.28880
17	0.84825	0.95585	7	7	4.41376
18	0.84815	0.95556	11	11	4.44285
19	0.84812	0.95548	10	10	4.45043
20	0.84771	0.95368	9	9	4.63027
21	0.84791	0.95313	8	8	4.68574
<b>22</b>	<b>0.84830</b>	<b>0.95323</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>4.67561</b>
23	0.84760	0.95232	2	6	4.76632
24	0.84719	0.95136	6	5	4.86232
25	0.84686	0.95058	5	4	4.94107
26	0.84679	0.95039	4	2	4.95971
27	0.84676	0.95029	1	1	4.96913

Untuk dapat menaikkan level tegangan sistem hingga di atas 0.95 pu, kapasitor yang harus dipasang pada bus 22 sebesar 18.69484 kVar 0.05954 Farad. Dari ketiga lokasi pemasangan kapasitor di atas, terdapat perbedaan besar kapasitas kapasitor yang harus dipasang pada lokasi bus 18, bus 22, dan bus 27 untuk mendapatkan kenaikan level tegangan hingga diatas 0.95 pu. Berikut kapasitas kapasitor untuk masing-masing lokasi pada tabel 4.5.

**Tabel 4.5** Data kapasitas kapasitor dengan lokasi yang berbeda pada penyulang Kapas Kerampung

No. Bus	Kapasitas Kapasitor		Voltage Corection (p.u)
	Q (kVar)	C (Farad)	
18	18.87283	0.06010	0.95
<b>22</b>	<b>18.69484</b>	<b>0.05954</b>	<b>0.95</b>
27	19.23152	0.06125	0.95

#### 4.1.2 Penyulang Mulyosari 68 Bus

Pada penyulang Mulyosari ini terdiri dari 68 bus dengan konfigurasi sistem 3 fasa radial tipe pohon dan beban yang terpasang pada 66 bus (bus 1 sebagai bus sumber dan bus 23 tidak ada beban). Data beban dan saluran dari penyulang Mulyosari dapat dilihat pada lampiran 2. Pada tabel 4.6 di bawah ini menunjukkan hasil simulasi *load flow* tiga fasa dengan metode *positive sequence* untuk mendapatkan *ranking index* setiap busnya.

**Tabel 4.6** Hasil *load flow* penyulang Mulyosari sebelum pemasangan kapasitor

No. Bus	Ranking Index (VRI)	Voltage System (p.u)	Ranking VRI (No. Bus)	Ranking Vsystem (No. Bus)	Voltage Drop (%)
1	1.00000	0.99999	63	63	0.00000
2	0.85318	0.97156	61	61	2.84228
3	0.85150	0.96682	62	62	3.31634
4	0.85030	0.96399	60	60	3.59924
5	0.84736	0.95743	59	59	4.25585
6	0.84405	0.94994	58	58	5.00467
7	0.84414	0.94985	56	56	5.01323
8	0.84415	0.94988	57	57	5.01099
9	0.84414	0.94985	55	55	5.01326
10	0.84004	0.94088	54	54	5.91048
11	0.84016	0.94082	53	53	5.91653



No. Bus	Ranking Index (VRI)	Voltage System (p.u)	Ranking VRI (No. Bus)	Ranking Vsystem (No. Bus)	Voltage Drop (%)
12	0.84014	0.94077	52	52	5.92142
13	0.83818	0.93649	50	51	6.34940
14	0.82901	0.91635	51	50	8.36324
15	0.82613	0.90938	49	49	9.06085
16	0.82345	0.90333	48	48	9.66614
17	0.82118	0.89819	47	47	10.17999
18	0.82125	0.89818	46	46	10.18102
19	0.81733	0.88968	45	45	11.03049
20	0.81432	0.88290	42	42	11.70888
21	0.81089	0.87527	44	44	12.47196
22	0.80842	0.86968	43	43	13.03120
23	0.80556	0.86331	41	41	13.66792
24	0.80532	0.86261	39	40	13.73811
25	0.80533	0.86260	40	39	13.73896
26	0.80528	0.86250	37	38	13.74892
27	0.80515	0.86222	38	37	13.77689
28	0.80506	0.86201	33	33	13.79751
29	0.80494	0.86176	32	32	13.82284
30	0.80489	0.86163	36	36	13.83544
31	0.80485	0.86156	35	35	13.84312
32	0.80484	0.86152	31	31	13.84639
33	0.80483	0.86151	34	34	13.84818
34	0.80487	0.86160	30	30	13.83892
35	0.80485	0.86155	29	29	13.84370
36	0.80485	0.86155	28	28	13.84420

No. Bus	Ranking Index (VRI)	Voltage System (p.u)	Ranking VRI (No. Bus)	Ranking Vsystem (No. Bus)	Voltage Drop (%)
37	0.80075	0.85270	27	27	14.72861
38	0.80090	0.85269	26	26	14.73005
39	0.79638	0.84291	24	25	15.70787
40	0.79652	0.84290	25	24	15.70902
41	0.79618	0.84210	68	68	15.78880
42	0.79507	0.83991	67	67	16.00781
43	0.79595	0.84156	66	66	15.84258
44	0.79530	0.84002	65	65	15.99713
<b>45</b>	<b>0.79488</b>	<b>0.83902</b>	64	64	<b>16.09676</b>
46	0.79468	0.83853	23	23	16.14553
47	0.79387	0.83661	22	22	16.33812
48	0.79386	0.83658	21	21	16.34084
49	0.79386	0.83657	20	20	16.34141
50	0.79340	0.83562	19	19	16.43711
51	0.79341	0.83560	17	18	16.43868
52	0.79278	0.83430	18	17	16.56863
53	0.79265	0.83397	16	16	16.60151
54	0.79262	0.83389	15	15	16.60930
55	0.79259	0.83382	14	14	16.61710
56	0.79257	0.83378	13	13	16.62041
57	0.79258	0.83380	10	12	16.61916
58	0.79256	0.83376	12	11	16.62284
59	0.79251	0.83365	11	10	16.63411
60	0.79248	0.83358	6	9	16.64033
61	0.79247	0.83357	7	7	16.64214

No. Bus	Ranking Index (VRI)	Voltage System (p.u)	Ranking VRI (No. Bus)	Ranking Vsystem (No. Bus)	Voltage Drop (%)
62	0.79247	0.83357	9	8	16.64156
<b>63</b>	<b>0.79246</b>	<b>0.83355</b>	8	6	<b>16.64354</b>
64	0.80555	0.86309	5	5	13.69021
65	0.80553	0.86304	4	4	13.69483
66	0.80553	0.86303	3	3	13.69531
67	0.80552	0.86301	2	2	13.69747
<b>68</b>	<b>0.80551</b>	<b>0.86300</b>	1	1	<b>13.69865</b>

Dari data hasil simulasi di atas, dilakukan simulasi dengan pemasangan kapasitor pada tiga lokasi yang berbeda untuk membandingkan besar kapasitor yang harus dipasang sehingga level tegangan sistemnya naik hingga 0.95 pu. Untuk lokasi pemasangannya sebagai berikut :

4. Pada bus 68 yang merupakan bus terakhir atau paling ujung dari penyulang Mulyosari.
5. Pada bus 45 yang merupakan bus 2/3 dari GI atau sumber utama.
6. Pada bus 63 yang memiliki indeks kestabilan paling rendah (0.79246).

Untuk lokasi yang pertama, hasil simulasi dapat dilihat pada tabel 4.7 di bawah ini :

***Tabel 4.7 Data kenaikan level tegangan penyulang Mulyosari setelah pemasangan kapasitor pada bus 68***

No. Bus	Ranking Index (VRI)	Voltage System (p.u)	Ranking VRI (No. Bus)	Ranking Vsystem (No. Bus)	Voltage Drop (%)
1	1.00000	0.99999	42	42	0.00000
2	0.86109	0.98956	39	40	1.04239
3	0.86072	0.98785	40	39	1.21376
4	0.86031	0.98683	33	41	1.31507
5	0.85926	0.98451	32	43	1.54804



No. Bus	Ranking Index (VRI)	Voltage System (p.u)	Ranking VRI (No. Bus)	Ranking Vsystem (No. Bus)	Voltage Drop (%)
6	0.85811	0.98186	36	38	1.81271
7	0.85819	0.98177	35	37	1.82112
8	0.85820	0.98180	31	33	1.81890
9	0.85819	0.98177	37	32	1.82111
10	0.85681	0.97885	34	36	2.11395
11	0.85692	0.97879	30	35	2.11983
12	0.85690	0.97874	29	31	2.12458
13	0.85631	0.97748	41	34	2.25095
14	0.85346	0.97122	38	30	2.87617
15	0.85276	0.96908	28	29	3.09088
16	0.85202	0.96725	27	28	3.27378
17	0.85141	0.96573	43	27	3.42583
18	0.85148	0.96572	26	26	3.42682
19	0.85035	0.96325	24	25	3.67358
20	0.84958	0.96129	25	24	3.86981
21	0.84868	0.95908	68	68	4.09047
22	0.84817	0.95769	67	67	4.22973
23	0.84755	0.95612	66	66	4.38670
24	0.84733	0.95546	65	65	4.45231
25	0.84734	0.95545	64	64	4.45311
26	0.84730	0.95536	23	23	4.46235
27	0.84718	0.95510	44	44	4.48856
28	0.84709	0.95491	22	45	4.50786
29	0.84699	0.95467	21	22	4.53161
30	0.84694	0.95455	45	46	4.54349

No. Bus	Ranking Index (VRI)	Voltage System (p.u)	Ranking VRI (No. Bus)	Ranking Vsystem (No. Bus)	Voltage Drop (%)
31	0.84691	0.95448	46	21	4.55076
32	0.84689	0.95445	20	49	4.55384
33	0.84689	0.95443	49	48	4.55549
34	0.84692	0.95452	48	47	4.54667
35	0.84691	0.95447	47	20	4.55113
36	0.84690	0.95447	19	19	4.55159
37	0.84692	0.95441	17	51	4.55722
38	0.84705	0.95440	18	50	4.55856
39	0.84645	0.95292	16	18	4.70644
40	0.84656	0.95291	15	17	4.70748
41	0.84699	0.95378	51	16	4.62017
42	0.84529	0.95017	50	15	4.98155
43	0.84727	0.95436	14	14	4.56251
44	0.84815	0.95615	13	52	4.38336
45	0.84874	0.95738	52	53	4.26092
46	0.84904	0.95800	10	56	4.19874
47	0.85026	0.96051	12	57	3.94779
48	0.85024	0.96048	11	55	3.95027
49	0.85024	0.96048	53	54	3.95079
50	0.85280	0.96571	56	13	3.42716
51	0.85276	0.96570	57	58	3.42863
52	0.85668	0.97368	55	12	2.63087
53	0.85768	0.97582	54	11	2.41654
54	0.85793	0.97636	6	10	2.36257
55	0.85789	0.97629	7	61	2.36956

No. Bus	Ranking Index (VRI)	Voltage System (p.u)	Ranking VRI (No. Bus)	Ranking Vsystem (No. Bus)	Voltage Drop (%)
56	0.85788	0.97626	9	60	2.37254
57	0.85789	0.97627	8	59	2.37143
58	0.85876	0.97807	58	7	2.19182
59	0.85960	0.97980	5	9	2.01900
60	0.85956	0.97974	61	8	2.02446
61	0.85955	0.97973	60	6	2.02603
62	0.86104	0.98278	59	62	1.72092
63	0.86190	0.98459	4	5	1.53987
64	0.84754	0.95592	3	63	4.40699
65	0.84753	0.95588	62	4	4.41105
66	0.84752	0.95587	2	3	4.41177
67	0.84751	0.95585	63	2	4.41374
<b>68</b>	<b>0.84751</b>	<b>0.95584</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>4.41481</b>

Untuk dapat menaikkan level tegangan sistem hingga di atas 0.95 pu, kapasitor yang harus dipasang pada bus 68 sebesar 10.57874 kVar 0.03369 Farad.

Untuk lokasi pemasangan kapasitor pada bus 45, hasil simulasi dapat dilihat pada tabel 4.8 di bawah ini :

***Tabel 4.8** Data kenaikan level tegangan penyulang Mulyosari setelah pemasangan kapasitor pada bus 45*

No. Bus	Ranking Index (VRI)	Voltage System (p.u)	Ranking VRI (No. Bus)	Ranking Vsystem (No. Bus)	Voltage Drop (%)
1	1.00000	0.99999	42	42	0.00000
2	0.86114	0.98965	39	40	1.03330
3	0.86076	0.98795	40	39	1.20314



No. Bus	Ranking Index (VRI)	Voltage System (p.u)	Ranking VRI (No. Bus)	Ranking Vsystem (No. Bus)	Voltage Drop (%)
4	0.86036	0.98695	33	41	1.30353
5	0.85932	0.98464	32	33	1.53436
6	0.85819	0.98202	36	38	1.79659
7	0.85826	0.98194	35	32	1.80499
8	0.85827	0.98196	31	37	1.80277
9	0.85826	0.98194	34	43	1.80498
10	0.85690	0.97904	30	36	2.09477
11	0.85701	0.97898	37	35	2.10065
12	0.85698	0.97893	29	31	2.10540
13	0.85640	0.97768	41	34	2.23024
14	0.85359	0.97150	38	30	2.84844
15	0.85290	0.96938	28	29	3.06071
16	0.85217	0.96757	27	28	3.24148
17	0.85156	0.96607	26	27	3.39169
18	0.85163	0.96606	43	26	3.39268
19	0.85052	0.96362	24	25	3.63640
20	0.84976	0.96168	25	24	3.83019
21	0.84887	0.95950	68	68	4.04810
22	0.84837	0.95813	67	67	4.18524
23	0.84777	0.95659	66	66	4.33978
24	0.84755	0.95593	65	65	4.40538
25	0.84756	0.95592	64	64	4.40617
26	0.84751	0.95583	23	23	4.41541
27	0.84739	0.95557	22	44	4.44161
28	0.84731	0.95538	44	45	4.46090

No. Bus	Ranking Index (VRI)	Voltage System (p.u)	Ranking VRI (No. Bus)	Ranking Vsystem (No. Bus)	Voltage Drop (%)
29	0.84720	0.95514	21	22	4.48465
30	0.84715	0.95502	45	46	4.49653
31	0.84712	0.95495	46	21	4.50379
32	0.84711	0.95492	20	49	4.50688
33	0.84710	0.95490	19	48	4.50853
34	0.84714	0.95499	49	47	4.49971
35	0.84712	0.95494	48	20	4.50416
36	0.84712	0.95494	47	19	4.50462
37	0.84716	0.95493	17	18	4.50580
38	0.84728	0.95491	18	17	4.50714
39	0.84671	0.95348	16	51	4.65082
40	0.84682	0.95347	15	50	4.65186
41	0.84725	0.95435	51	16	4.56370
42	0.84555	0.95073	50	15	4.92580
43	0.84754	0.95493	14	14	4.50547
44	0.84842	0.95674	13	52	4.32463
<b>45</b>	<b>0.84902</b>	<b>0.95798</b>	10	53	<b>4.20107</b>
46	0.84932	0.95860	12	56	4.13832
47	0.85056	0.96113	52	57	3.88512
48	0.85053	0.96111	11	55	3.88760
49	0.85053	0.96110	53	54	3.88812
50	0.85311	0.96637	6	13	3.36154
51	0.85307	0.96636	56	58	3.36301
52	0.85700	0.97438	57	12	2.56082
53	0.85801	0.97653	55	11	2.34532

No. Bus	Ranking Index (VRI)	Voltage System (p.u)	Ranking VRI (No. Bus)	Ranking Vsystem (No. Bus)	Voltage Drop (%)
54	0.85826	0.97708	7	10	2.29105
55	0.85823	0.97701	9	61	2.29804
56	0.85822	0.97698	54	60	2.30102
57	0.85822	0.97699	8	59	2.29991
58	0.85910	0.97879	58	7	2.11943
59	0.85994	0.98053	5	9	1.94573
60	0.85990	0.98047	61	8	1.95119
61	0.85989	0.98046	60	6	1.95276
62	0.86139	0.98352	59	62	1.64620
63	0.86225	0.98534	4	5	1.46428
64	0.84776	0.95639	3	63	4.36007
65	0.84774	0.95634	2	4	4.36413
66	0.84774	0.95634	62	3	4.36484
67	0.84773	0.95632	63	2	4.36682
68	0.84773	0.95631	1	1	4.36788

Untuk dapat menaikkan level tegangan sistem hingga di atas 0.95 pu, kapasitor yang harus dipasang pada bus 45 sebesar 10.60592 kVar 0.03378 Farad. Setelah dilakukan pemasangan kapasitor, terjadi kenaikan level tegangan pada bus 45 dari 0.83902 pu menjadi 0.84902 pu dan nilai VRI bus 45 juga mengalami kenaikan dari 0.79488 menjadi 0.84902. Jika dibandingkan dengan pemasangan kapasitor pada bus 68 sebesar 10.57874 kVar 0.03369 Farad, kapasitas kapasitor yang harus dipasang pada bus 45 lebih besar untuk mendapatkan kenaikan level tegangan yang sama hingga diatas 0.95 pu.

Untuk lokasi pemasangan kapasitor pada bus 63, hasil simulasi dapat dilihat pada tabel 4.9 di bawah ini :



**Tabel 4.9** Data kenaikan level tegangan penyulang Mulyosari setelah pemasangan kapasitor pada bus 63

No. Bus	Ranking Index (VRI)	Voltage System (p.u)	Ranking VRI (No. Bus)	Ranking Vsystem (No. Bus)	Voltage Drop (%)
1	1.00000	0.99999	42	42	0.00000
2	0.86111	0.98959	39	40	1.03991
3	0.86073	0.98788	40	39	1.21087
4	0.86032	0.98687	33	41	1.31193
5	0.85927	0.98454	32	43	1.54431
6	0.85813	0.98190	36	38	1.80832
7	0.85821	0.98182	35	37	1.81672
8	0.85822	0.98184	31	33	1.81450
9	0.85821	0.98182	34	32	1.81671
10	0.85684	0.97890	37	36	2.10872
11	0.85694	0.97884	30	35	2.11460
12	0.85692	0.97879	29	31	2.11936
13	0.85633	0.97753	41	34	2.24530
14	0.85350	0.97130	38	30	2.86861
15	0.85280	0.96916	28	29	3.08265
16	0.85206	0.96734	27	28	3.26498
17	0.85145	0.96582	43	27	3.41652
18	0.85152	0.96581	26	26	3.41751
19	0.85040	0.96335	24	25	3.66345
20	0.84963	0.96140	25	24	3.85901
21	0.84873	0.95920	68	68	4.07892
22	0.84822	0.95781	67	67	4.21760
23	0.84761	0.95625	66	66	4.37391

No. Bus	Ranking Index (VRI)	Voltage System (p.u)	Ranking VRI (No. Bus)	Ranking Vsystem (No. Bus)	Voltage Drop (%)
24	0.84739	0.95559	65	65	4.43952
25	0.84740	0.95558	64	64	4.44031
26	0.84736	0.95549	23	23	4.44955
27	0.84723	0.95523	44	44	4.47576
28	0.84715	0.95504	22	45	4.49506
29	0.84705	0.95480	21	22	4.51881
30	0.84700	0.95468	45	46	4.53069
31	0.84697	0.95461	46	21	4.53796
32	0.84695	0.95458	20	49	4.54104
33	0.84695	0.95456	49	48	4.54269
34	0.84698	0.95465	48	47	4.53387
35	0.84696	0.95460	47	20	4.53833
36	0.84696	0.95460	19	19	4.53878
37	0.84699	0.95455	17	18	4.54321
38	0.84711	0.95454	18	17	4.54454
39	0.84652	0.95307	16	51	4.69127
40	0.84663	0.95306	15	50	4.69232
41	0.84706	0.95394	51	16	4.60478
42	0.84536	0.95032	50	15	4.96635
43	0.84734	0.95452	14	14	4.54696
44	0.84822	0.95631	13	52	4.36735
45	0.84881	0.95754	52	53	4.24460
46	0.84911	0.95816	10	56	4.18227
47	0.85034	0.96068	12	57	3.93070
48	0.85032	0.96065	11	55	3.93319

No. Bus	Ranking Index (VRI)	Voltage System (p.u)	Ranking VRI (No. Bus)	Ranking Vsystem (No. Bus)	Voltage Drop (%)
49	0.85032	0.96065	53	54	3.93371
50	0.85288	0.96589	56	13	3.40927
51	0.85285	0.96588	57	58	3.41074
52	0.85677	0.97387	55	12	2.61177
53	0.85777	0.97601	54	11	2.39713
54	0.85802	0.97656	6	10	2.34307
55	0.85798	0.97649	7	61	2.35007
56	0.85797	0.97646	9	60	2.35304
57	0.85798	0.97647	8	59	2.35193
58	0.85885	0.97826	58	7	2.17209
59	0.85969	0.98000	5	9	1.99902
60	0.85965	0.97994	61	8	2.00449
61	0.85964	0.97993	60	6	2.00606
62	0.86113	0.98298	59	62	1.70055
<b>63</b>	<b>0.86199</b>	<b>0.98479</b>	4	5	<b>1.51926</b>
64	0.84760	0.95604	3	63	4.39420
65	0.84759	0.95600	2	4	4.39826
66	0.84758	0.95600	62	3	4.39897
67	0.84757	0.95598	63	2	4.40095
68	0.84757	0.95597	1	1	4.40201

Untuk dapat menaikkan level tegangan sistem hingga di atas 0.95 pu, kapasitor yang harus dipasang pada bus 63 sebesar 10.53952 kVar 0.03357 Farad. Dari ketiga lokasi pemasangan kapasitor di atas, terdapat perbedaan besar kapasitas kapasitor yang harus dipasang pada lokasi bus 45, bus 63, dan bus 68 untuk mendapatkan kenaikan level tegangan



hingga diatas 0.95 pu. Berikut kapasitas kapasitor untuk masing-masing lokasi pada tabel 4.10.

**Tabel 4.10** Data kapasitas kapasitor dengan lokasi yang berbeda pada penyulang Mulyosari

No. Bus	Kapasitas Kapasitor		Voltage Corection (p.u)
	Q (kVar)	C (Farad)	
45	10.60592	0.03378	0.95
63	10.53952	0.03357	0.95
68	10.57874	0.03369	0.95

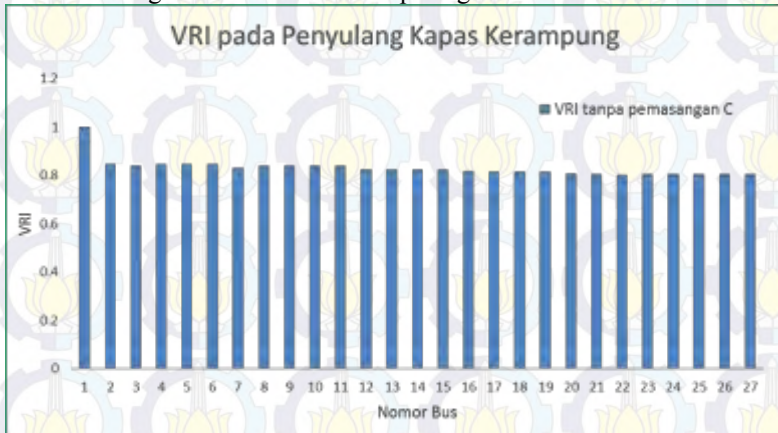
## 4.2 Analisis Aliran Daya

Dari data hasil simulasi di atas, ada beberapa perbedaan kenaikan level tegangan sistem berdasarkan lokasi penempatannya yang mempengaruhi besar kapasitas kapasitor yang harus dipasang. Perbedaan kapasitas kapasitor tersebut dipengaruhi oleh besar drop tegangan sistem sebelum pemasangan kapasitor. Semakin besar drop tegangan sistem, maka semakin besar kapasitas kapasitor yang harus dipasang untuk mendapatkan kenaikan level tegangan sistem hingga 0.95 pu.

### 4.2.1 Penyulang Kapas Kerampung 27 Bus

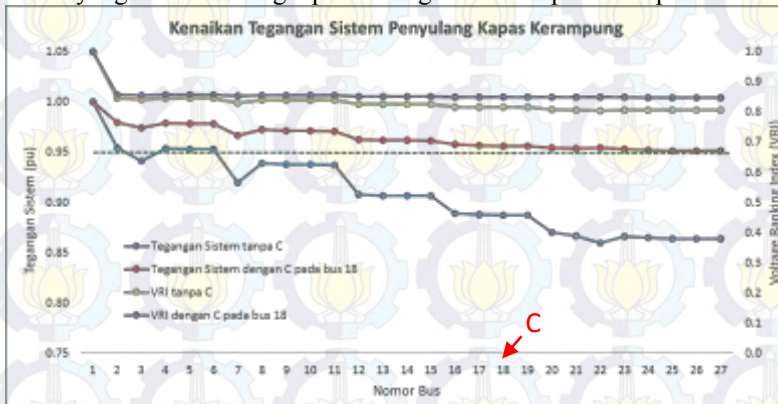
Setelah melakukan simulasi untuk penyulang Kapas Kerampung 27 bus, didapatkan data hasil simulasi pada tabel 4.1 untuk data hasil *load flow* sebelum pemasangan kapasitor, tabel 4.2 untuk data hasil *load flow* setelah pemasangan kapasitor pada bus 27, tabel 4.3 untuk data hasil *load flow* setelah pemasangan kapasitor pada bus 18, dan tabel 4.4 untuk data hasil *load flow* setelah pemasangan kapasitor pada bus 22. Dari ketiga data tersebut maka didapatkan grafik kenaikan level tegangan sistem setelah pemasangan kapasitor pada tiga lokasi yang berbeda. Pemasangan kapasitor pada bus 18 dengan besar kapasitas 18.87282 kVar 0.06011 Farad, pada bus 22 dengan besar kapasitas 18.69484 kVar 0.05954 Farad, dan pada bus 27 dengan besar kapasitas 19.23152 kVar 0.06125 Farad. Dengan adanya pemasangan kapasitor pada tiga lokasi tersebut maka dapat dibandingkan pemasangan kapasitor yang lebih efektif yaitu dengan pemasangan kapasitas terkecil untuk mendapatkan kenaikan level tegangan sistem hingga 0.95 pu.

Indeks kestabilan dari masing-masing bus berbeda sesuai dengan nilai level tegangan bus dimana semakin panjang saluran maka semakin tinggi nilai drop tegangan. Dari nilai indeks kestabilan tersebut dapat dilihat ranking bus berdasarkan VRI pada gambar 4.1 dibawah ini.

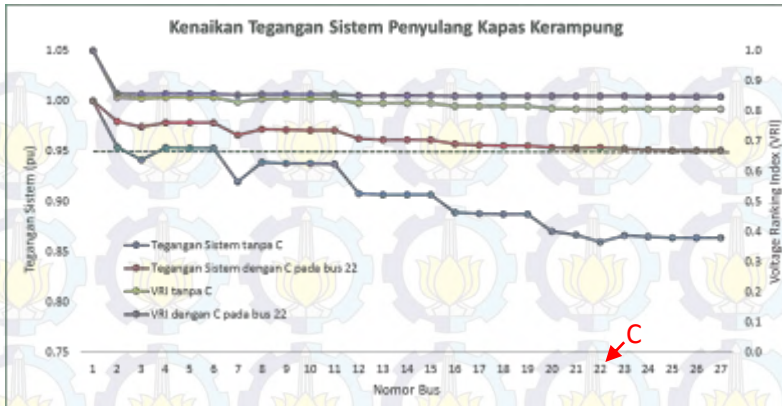


**Gambar 4.1** VRI dari penyulang Kapas Keramping

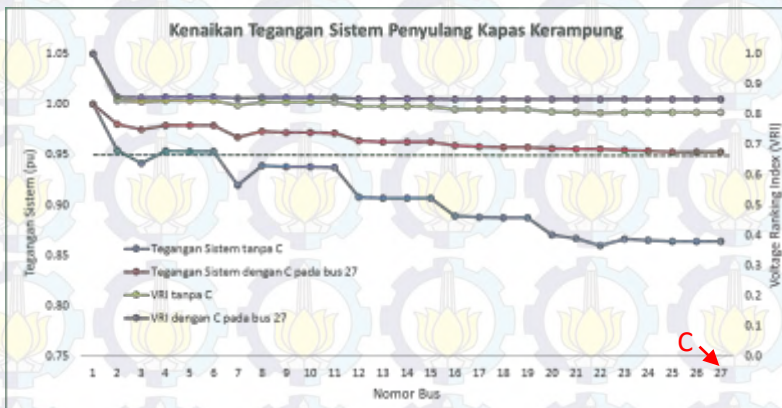
Dari VRI yang diperoleh dilakukan pemasangan kapasitor pada tiga lokasi yang berbeda sebagai perbandingan besar kapasitas kapasitor.



**Gambar 4.2** Kenaikan level tegangan sistem setelah pemasangan kapasitor pada bus 18



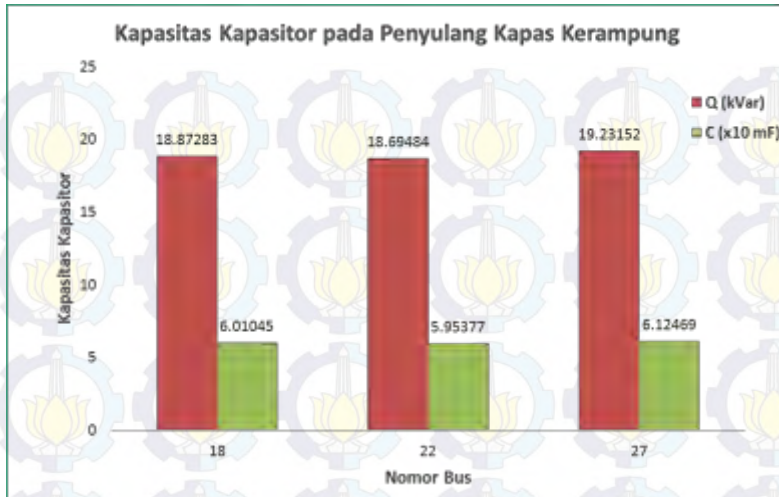
**Gambar 4.3** Kenaikan level tegangan sistem setelah pemasangan kapasitor pada bus 22



**Gambar 4.4** Kenaikan level tegangan sistem setelah pemasangan kapasitor pada bus 27

Setelah dilakukan pemasangan kapasitor pada bus 18, bus 22, dan bus 27 untuk menaikkan level tegangan sistem hingga diatas 0.95 pu, terdapat perbedaan besar kapasitas kapasitor yang harus dipasang. Besar kapasitas kapasitor untuk masing-masing lokasi penempatan dapat dilihat pada gambar 4.5 di bawah ini.





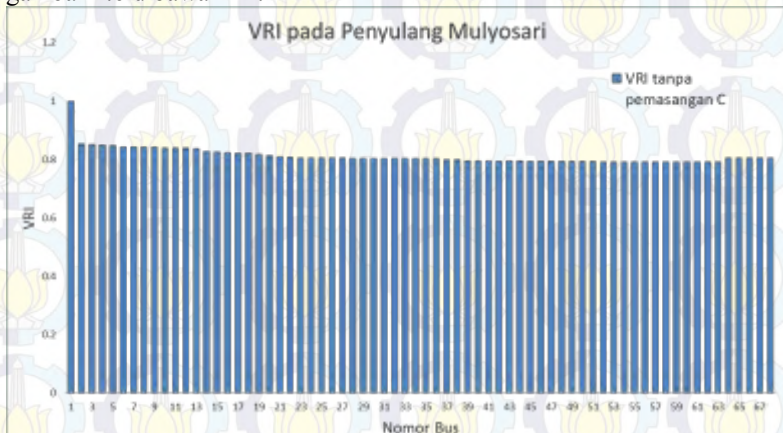
**Gambar 4.5** Kapasitas kapasitor untuk masing-masing lokasi penempatan pada penyulang Kapas Kerampung

Dari data hasil simulasi untuk tiga lokasi pemasangan kapasitor pada penyulang Kapas Kerampung, lokasi pemasangan pada bus 22 merupakan lokasi yang paling efektif karena dengan pemasangan kapasitor sebesar 18.69483 kVar 0.05953 Farad, level tegangan sistem dapat dinaikkan dari 0.8596 pu menjadi 0.95323 pu (pada bus 22). Penentuan lokasi bus 22 tersebut sesuai dengan metode PS-VRI dimana pada bus 22 nilai indeks kestabilannya paling rendah yaitu 0.80289 dan tegangan pada bus 22 sebesar 0.8596 pu dengan drop tegangan sebesar 14.0398%. Setelah dilakukan pemasangan kapasitor pada bus 22, level tegangan pada seluruh bus mengalami kenaikan hingga 0.95323 pu (pada bus 22) dimana tegangan terendah berada pada bus 27 sebesar 0.95029 pu dengan drop tegangan sebesar 4.96913%. Dengan adanya kenaikan level tegangan pada seluruh bus, maka indeks kestabilan seluruh sistem juga mengalami kenaikan dimana indeks kestabilan terendah berada pada bus 22 sebesar 0.84676.

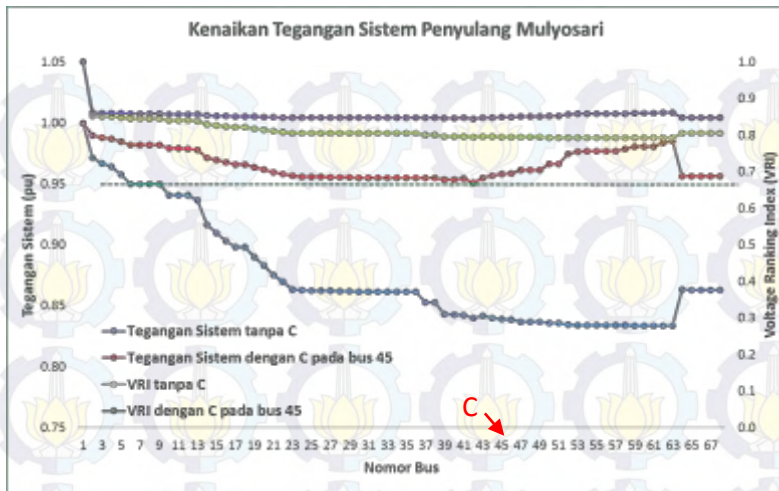
#### 4.2.2 Penyulang Mulyosari 68 Bus

Setelah melakukan simulasi untuk penyulang Mulyosari 68 bus, didapatkan data hasil simulasi pada tabel 4.6 untuk data hasil *load flow* sebelum pemasangan kapasitor, tabel 4.7 untuk data hasil *load flow* setelah pemasangan kapasitor pada bus 68, tabel 4.8 untuk data hasil *load flow* setelah pemasangan kapasitor pada bus 45, dan tabel 4.9 untuk data hasil *load flow* setelah pemasangan kapasitor pada bus 63. Dari ketiga data tersebut maka didapatkan grafik kenaikan level tegangan sistem setelah pemasangan kapasitor pada tiga lokasi yang berbeda. Pemasangan kapasitor pada bus 45 dengan besar kapasitas 10.60592 kVar 0.03378 Farad, pada bus 63 dengan besar kapasitas 10.53952 kVar 0.03357 Farad, dan pada bus 68 dengan besar kapasitas 10.57874 kVar 0.03369 Farad. Dengan adanya pemasangan kapasitor pada tiga lokasi tersebut maka dapat dibandingkan pemasangan kapasitor yang lebih efektif yaitu dengan pemasangan kapasitas terkecil untuk mendapatkan kenaikan level tegangan sistem hingga 0.95 pu.

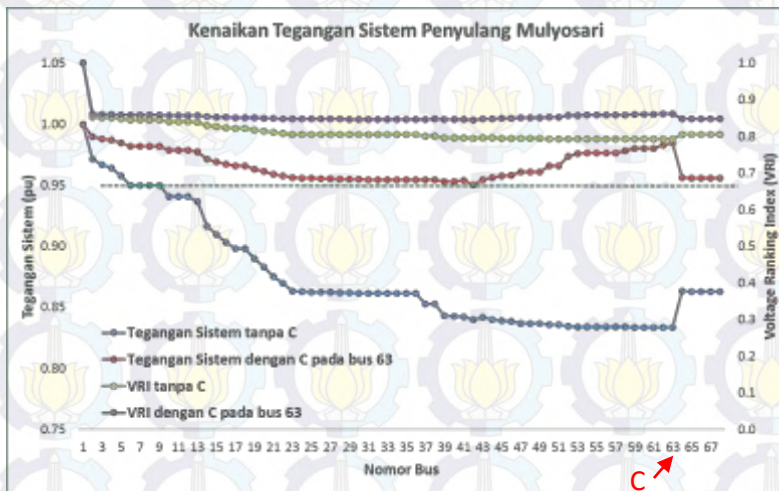
Indeks kestabilan dari masing-masing bus pada penyulang Mulyosari berbeda sesuai dengan nilai level tegangan bus dimana semakin panjang saluran maka semakin tinggi nilai drop tegangan sehingga tegangan pada bus tersebut semakin rendah. Dari nilai indeks kestabilan tersebut dapat dilihat ranking bus berdasarkan VRI pada gambar 4.6 dibawah ini.



**Gambar 4.6** VRI dari penyulang Mulyosari

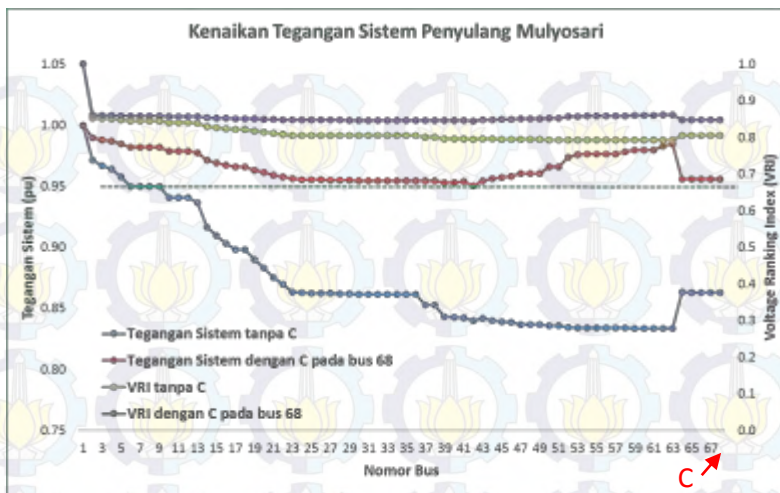


**Gambar 4.7** Kenaikan level tegangan sistem setelah pemasangan kapasitor pada bus 45

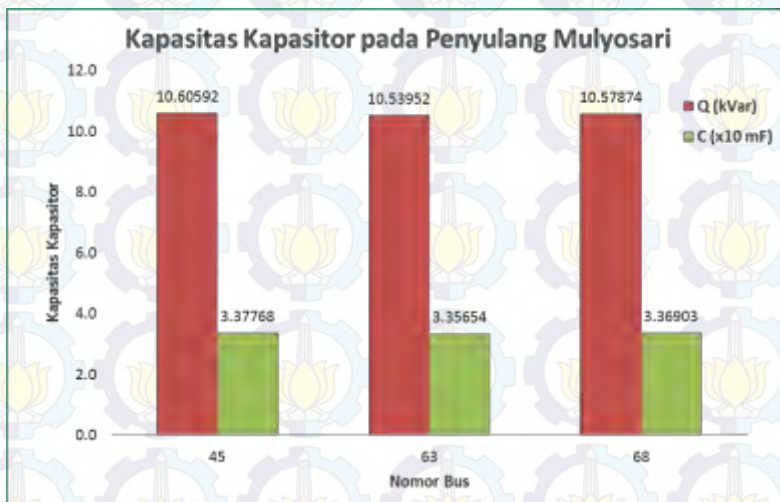


**Gambar 4.8** Kenaikan level tegangan sistem setelah pemasangan kapasitor pada bus 63





**Gambar 4.9** Kenaikan level tegangan sistem setelah pemasangan kapasitor pada bus 68



**Gambar 4.10** Kapasitas kapasitor untuk masing-masing lokasi penempatan pada penyulang Mulyosari

Dari data hasil simulasi untuk tiga lokasi pemasangan kapasitor pada penyulang Mulyosari, lokasi pemasangan pada bus 63 merupakan lokasi yang paling efektif karena dengan pemasangan kapasitor sebesar 10.53952 kVar 0.03356 Farad, level tegangan sistem dapat dinaikkan dari 0.83355 pu menjadi 0.98479 pu (pada bus 63). Penentuan lokasi bus 63 tersebut sesuai dengan metode PS-VRI dimana pada bus 63 nilai indeks kestabilannya paling rendah yaitu 0.79246 dan tegangan pada bus 63 sebesar 0.83355 pu dengan drop tegangan sebesar 16.64354%. Setelah dilakukan pemasangan kapasitor pada bus 63, level tegangan pada seluruh bus mengalami kenaikan hingga 0.98479 pu (pada bus 63) dimana tegangan terendah berada pada bus 42 sebesar 0.95032 pu dengan drop tegangan sebesar 4.96635%. Dengan adanya kenaikan level tegangan pada seluruh bus, maka indeks kestabilan seluruh sistem juga mengalami kenaikan dimana indeks kestabilan terendah berada pada bus 42 sebesar 0.84536.

Berdasarkan data hasil simulasi untuk kedua penyulang di atas, pada penyulang Kapas Kerampung indeks kestabilan terendah pada bus 22 sebesar 0.80289 dan pada penyulang Mulyosari indeks kestabilan terendah pada bus 63 sebesar 0.79246. Dari kedua indeks tersebut dapat menyatakan bahwa bus tersebut sangat kritis karena untuk kondisi normal atau stabil, drop tegangan harus di bawah 10% ( $< 10\%$ ) sesuai standar Permen ESDM No. 04 2009 [8] dan IEEE [9] atau nilai indeks kestabilan minimal 0.82173 (untuk tegangan 0.9 pu). Setelah diketahui indeks kestabilan terendah dari kedua penyulang, dapat dilakukan pemasangan kapasitor pada bus tersebut untuk meningkatkan level tegangan sistem secara keseluruhan. Pada simulasi tersebut, *Voltage System Correction* diatur sebesar 0.95% atau memiliki *voltage drop* sebesar 5% untuk mendapatkan kondisi sistem yang stabil atau jauh dari titik kritisnya. Metode *Positive Sequence Voltage Ranking Index (PS-VRI)* dapat menentukan lokasi penempatan kapasitor yang paling efektif pada sistem jaringan distribusi radial dengan cara menghitung indeks kestabilan masing-masing bus. Pemasangan kapasitor tersebut bertujuan untuk memperbaiki dan meningkatkan level tegangan sistem agar sistem stabil atau jauh dari titik kritisnya sesuai dengan standar yang telah ditentukan.

## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan hasil yang diperoleh dari simulasi dan analisa data pada tugas akhir ini, dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Analisis kestabilan tegangan pada jaringan distribusi bertujuan untuk mengetahui sensitivitas bus terhadap perubahan beban.
2. Metode *Positive Sequence Voltage Ranking Index (PS-VRI)* dapat digunakan untuk menentukan ranking bus dalam suatu sistem jaringan distribusi radial berdasarkan indeks kestabilannya.
3. Untuk memperbaiki dan meningkatkan level tegangan dalam suatu sistem jaringan distribusi radial dengan menggunakan kapasitor lebih efektif jika pemasangannya berdasarkan ranking indeks yang diperoleh dari metode PS-VRI.
4. Pada penyulang Kapas Kerampung 27 bus indeks kestabilan terendah pada bus 22 sebesar 0.80289 dan pada penyulang Mulyosari 68 bus indeks kestabilan terendah pada bus 63 sebesar 0.79246.
5. Setelah dilakukan pemasangan kapasitor pada penyulang Kapas Kerampung di bus 22, level tegangan pada seluruh bus mengalami kenaikan hingga 0.95323 pu (pada bus 22) dimana tegangan terendah berada pada bus 27 sebesar 0.95029 pu dengan drop tegangan sebesar 4.96913%.
6. Setelah dilakukan pemasangan kapasitor pada penyulang Mulyosari di bus 63, level tegangan pada seluruh bus mengalami kenaikan hingga 0.98479 pu (pada bus 63) dimana tegangan terendah berada pada bus 42 sebesar 0.95032 pu dengan drop tegangan sebesar 4.96635%.
7. Drop tegangan pada sistem jaringan distribusi radial dipengaruhi oleh kapasitas beban dan panjang saluran. Semakin tinggi kapasitas beban yang harus dilayani maka semakin besar arus saluran yang mengalir dalam jaringan sehingga drop tegangan semakin besar. Jika nilai drop tegangan pada bus semakin besar maka nilai indeks kestabilan pada bus tersebut akan semakin kecil yang menandakan bahwa bus tersebut sangat kritis.



## 5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan untuk perbaikan dan pengembangan tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Metode *Positive Sequence Voltage Ranking Index (PS-VRI)* dapat digunakan sebagai metode monitoring sistem jaringan distribusi untuk menjaga keamanan dan kesetabilan tegangan.
2. Pada analisa kestabilan tegangan selanjutnya dapat dikembangkan dengan adanya pemasangan transformator pada sistem jaringan distribusi radial.
3. Untuk optimasi pemasangan kapasitor dapat dipelajari lebih lanjut dengan menggunakan metode yang lainnya.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Kundur, P. “*Voltage Stability, Power System stability and control*”. 959-1019.1994.
- [2] Venkataramana, A. “*Power Computational Techniques for Voltage Stability Assessment and Control (1th)*”.2007.
- [3] Juanuwattanakul, P., “*increasing distributed generation penetration in multiphase distribution networks considering grid losses, maximum loading factor and bus voltage limits*”, IET Generation, Transmission & Distribution, 2012, Vol.6, Iss.12, pp.1262-1271
- [4] [repository.usu.ac.id/bitstream/123456789/29935/3/Chapter%20II.pdf](http://repository.usu.ac.id/bitstream/123456789/29935/3/Chapter%20II.pdf)
- [5] Komponen Simetris.pdf
- [6] Introduction to power flow by Matt.pdf
- [7] Jen-Hao TENG. “*A Network-Topology-based Three Phase Load Flow for Distribution Systems*”. Proc.Natl.Sci.Counc.ROC(A) Vol.24, No.4, 2000.pp.259-264.
- [8] Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Nomor 04 Tahun 2009 tentang Aturan Distribusi Tenaga Listrik.
- [9] IEEE Recommended Practice for Monitoring Electirc Power Quality, 1159-1995



*--- Halaman ini sengaja dikosongkan ---*



## BIOGRAFI PENULIS



Bambang Irawan dan biasa dipanggil Ba'ir lahir di Gresik pada tanggal 19 September 1991. Penulis menempuh Sekolah dasar di SDN Pranti 2 di kabupaten Gresik selama 6 tahun, kemudian melanjutkan pendidikan di SMPN 1 Menganti di kabupaten Gresik selama 3 tahun, serta menempuh pendidikan di SMAN 1 Cerme di kabupaten Gresik selama 3 tahun. Setelah lulus dari SMA, penulis melanjutkan kuliah Program Diploma 3 (D3) jurusan Teknik Elektro Industri di PENS-ITS Surabaya selama 3 tahun dan lulus tahun 2011. Setelah menyelesaikan program Diploma 3, penulis terjun di dunia praktis di sebuah perusahaan kontraktor pertambangan batu bara PT. Pamapersada Nusantara selama 1 tahun 8 bulan. Dan kini penulis sedang melanjutkan kuliah Program Strata 1 (S1) jurusan Teknik Elektro di ITS Surabaya. Penulis hobi bermain badminton dan memancing dan jika ada keperluan bisa menghubungi di email [bair.elin@gmail.com](mailto:bair.elin@gmail.com)

## DAFTAR LAMPIRAN

Data Penyulang Kapas Kerampung 27 Bus  
Line Diagram Penyulang Kapas Kerampung  
Data Penyulang Mulyosari 68 Bus  
Line Diagram Penyulang Mulyosari  
Program

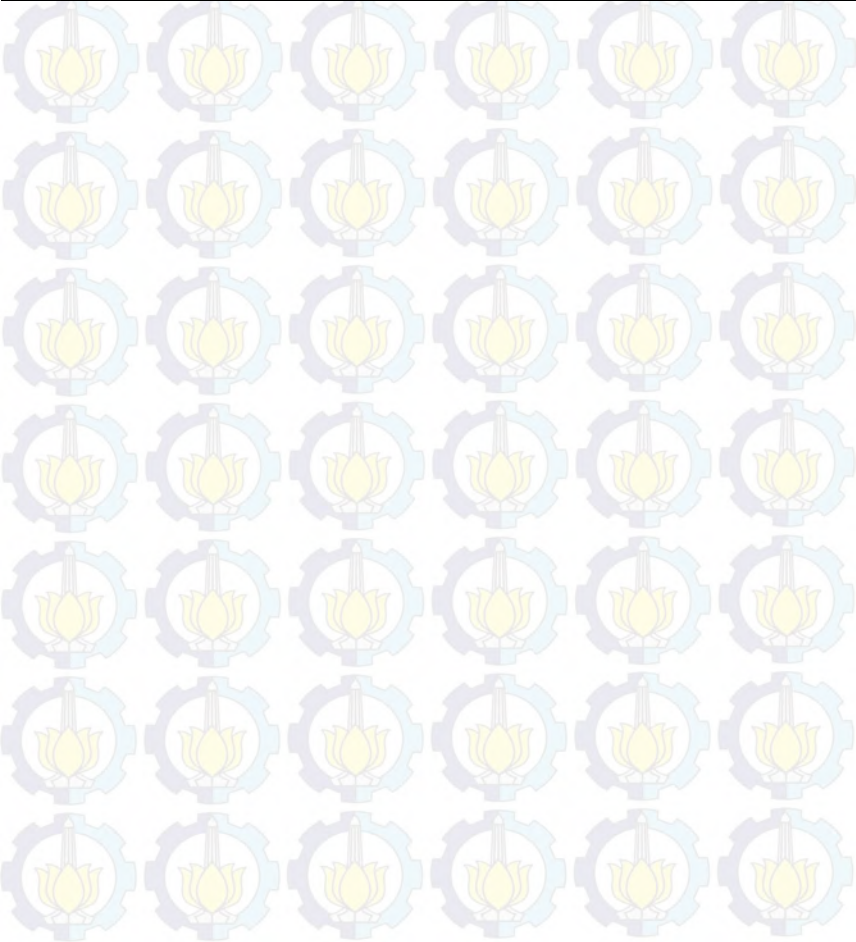


## LAMPIRAN 1 : Data Penyulang Kapas Keramping 27 Bus

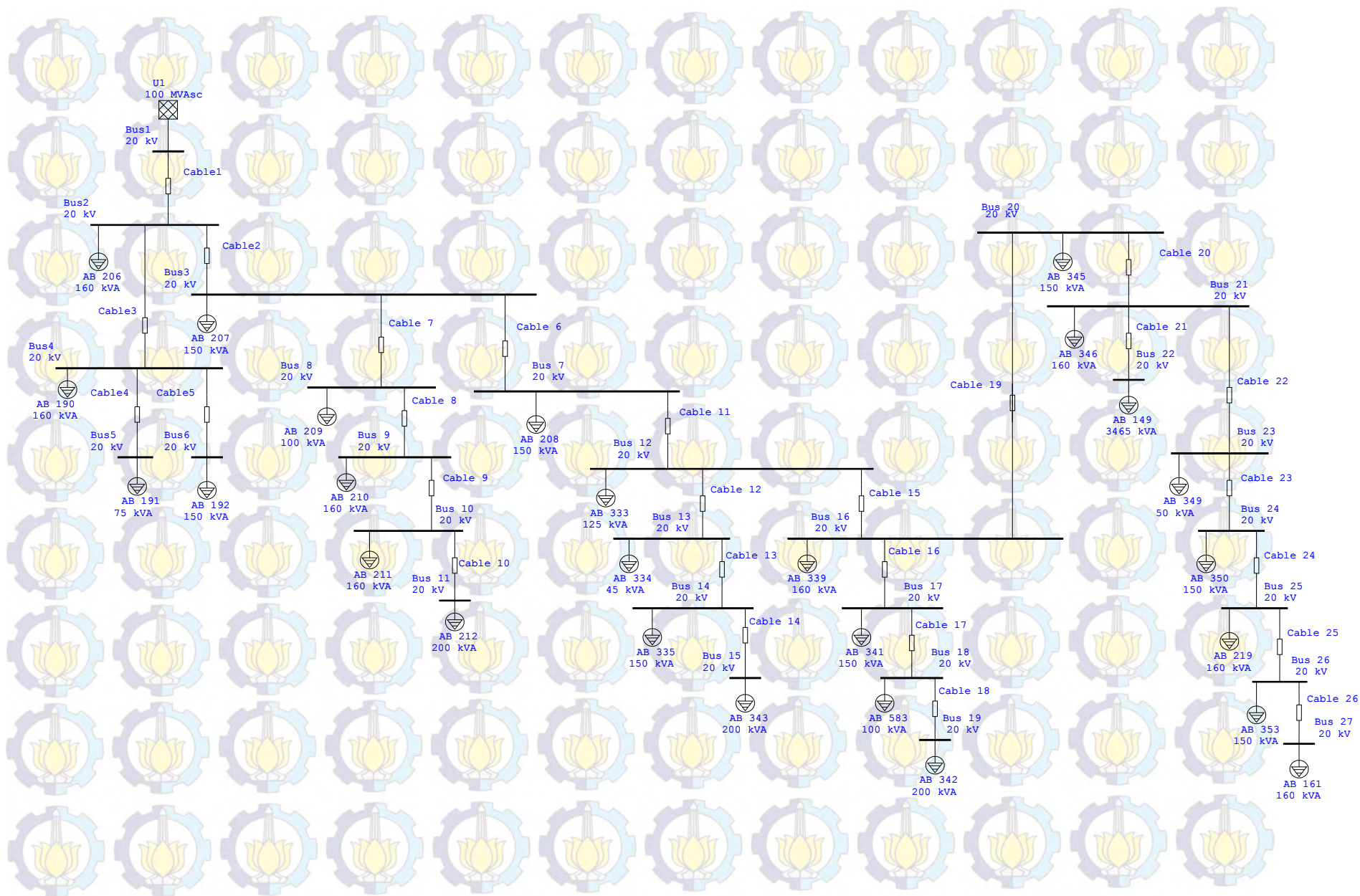
Saluran		Impedansi		Pan- jang Salu- -ran (m)	Daya					
Bus	Bus				P (kW)			Q (kVAR)		
		R (Ω)	X ((Ω)		R-N	S-N	T-N	R-N	S-N	T-N
1	1	0.000	0.000	0	0	0	0	0	0	0
1	2	0.187	0.092	704	13.195	9.301	2.596	3.307	2.331	0.651
2	3	0.058	0.029	220	10.616	15.924	14.154	2.660	3.991	3.547
2	4	0.058	0.029	220	24.095	25.142	21.162	6.039	6.301	5.303
4	5	0.070	0.034	264	9.510	6.635	9.952	2.383	1.663	2.494
4	6	0.093	0.046	352	29.672	24.541	9.816	7.436	6.150	2.460
3	7	0.105	0.051	396	40.197	40.631	33.027	10.074	10.183	8.277
3	8	0.117	0.057	440	7.106	1.938	5.599	1.781	0.486	1.403
8	9	0.070	0.034	264	33.611	17.460	26.627	8.423	4.376	6.673
9	10	0.012	0.006	44	7.388	7.822	4.128	1.851	1.960	1.035
10	11	0.058	0.029	220	43.088	35.800	35.157	10.799	8.972	8.811
7	12	0.058	0.029	220	8.808	15.193	9.248	2.207	3.808	2.318
12	13	0.047	0.023	176	16.514	20.257	19.377	4.139	5.077	4.856
13	14	0.012	0.006	44	32.375	21.076	30.854	8.114	5.282	7.733
14	15	0.035	0.017	132	26.408	34.702	34.920	6.618	8.697	8.752
12	16	0.105	0.051	396	39.414	22.900	22.900	9.878	5.739	5.739
16	17	0.105	0.051	396	24.553	12.168	13.254	6.153	3.049	3.322
17	18	0.035	0.017	132	15.413	5.725	4.184	3.863	1.435	1.048
18	19	0.012	0.006	44	35.157	28.511	26.796	8.811	7.145	6.716
16	20	0.117	0.057	440	31.457	23.426	22.087	7.884	5.871	5.535
20	21	0.023	0.011	88	36.286	30.854	48.453	9.094	7.733	12.143
21	22	0.058	0.029	220	510.923	510.92	510.92	128.05	128.047	128.05
21	23	0.047	0.023	176	4.685	2.008	4.685	1.174	0.503	1.174
23	24	0.058	0.029	220	16.734	8.367	16.294	4.194	2.097	4.084
24	25	0.058	0.029	220	32.006	20.607	24.553	8.021	5.164	6.153



Saluran		Impedansi		Pan- jang Salu- -ran (m)	Daya					
Bus	Bus				P (kW)			Q (kVAR)		
					R (Ω)	X ((Ω)	R-N	S-N	T-N	R-N
25	26	0.023	0.011	88	24.118	20.424	29.550	6.044	5.119	7.406
26	27	0.035	0.017	132	9.028	17.615	11.010	2.263	4.415	2.759



# One-Line Diagram - OLV1 (Edit Mode)



## LAMPIRAN 2 : Data Penyulang Mulyosari 68 Bus

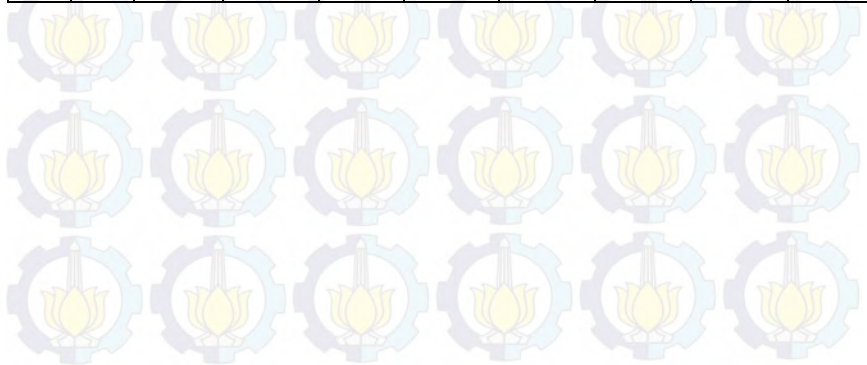
Saluran		Impedansi		Pan- jang Salu- ran (m)	Daya					
Bus	Bus				P (kW)			Q (kVAR)		
		R (Ω)	X ((Ω)		R-N	S-N	T-N	R-N	S-N	T-N
1	2	0.347	0.170	1308	34.942	37.086	35.800	8.757	9.294	8.972
2	3	0.058	0.029	220	30.741	14.597	20.347	7.704	3.658	5.099
3	4	0.035	0.017	132	24.991	24.549	17.472	6.266	6.155	4.381
4	5	0.082	0.040	308	7.775	10.662	8.663	1.948	2.672	2.171
5	6	0.093	0.046	352	26.863	32.588	31.707	6.732	8.167	7.946
6	7	0.093	0.046	352	49.763	53.928	39.679	12.472	13.515	9.944
6	8	0.058	0.029	220	28.499	35.733	29.375	7.142	8.955	7.362
6	10	0.117	0.057	440	24.991	37.818	28.087	6.263	9.478	7.039
8	9	0.047	0.023	176	29.635	19.904	23.222	7.427	4.988	5.820
10	11	0.093	0.046	352	36.171	29.375	31.787	9.065	7.362	7.966
10	12	0.093	0.046	352	34.629	25.511	42.486	8.679	6.394	10.648
10	13	0.058	0.029	220	15.924	3.317	7.741	3.991	0.831	1.940
13	14	0.268	0.132	1012	20.333	16.656	9.085	5.096	4.174	2.277
14	15	0.093	0.046	352	36.491	39.479	20.060	9.145	9.894	5.027
15	16	0.082	0.040	308	36.278	33.931	35.638	7.895	7.384	7.756
16	17	0.070	0.034	264	19.508	16.506	16.292	4.889	4.137	4.083
17	18	0.070	0.034	264	6.111	8.512	7.421	1.532	2.133	1.860
17	19	0.117	0.057	440	4.716	18.650	11.147	1.182	4.674	2.794
19	20	0.093	0.046	352	0.433	0.433	0.649	0.108	0.108	0.163
20	21	0.105	0.051	396	197.79	208.78	197.79	49.569	52.323	49.569
21	22	0.082	0.040	308	15.574	4.975	13.195	3.903	1.247	3.307
22	23	0.093	0.046	352	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
23	24	0.117	0.057	440	10.429	18.252	17.165	2.614	4.574	4.302
24	25	0.035	0.017	132	10.864	11.516	11.950	2.723	2.886	2.995
24	26	0.152	0.074	572	35.793	29.464	33.829	8.970	7.384	8.478



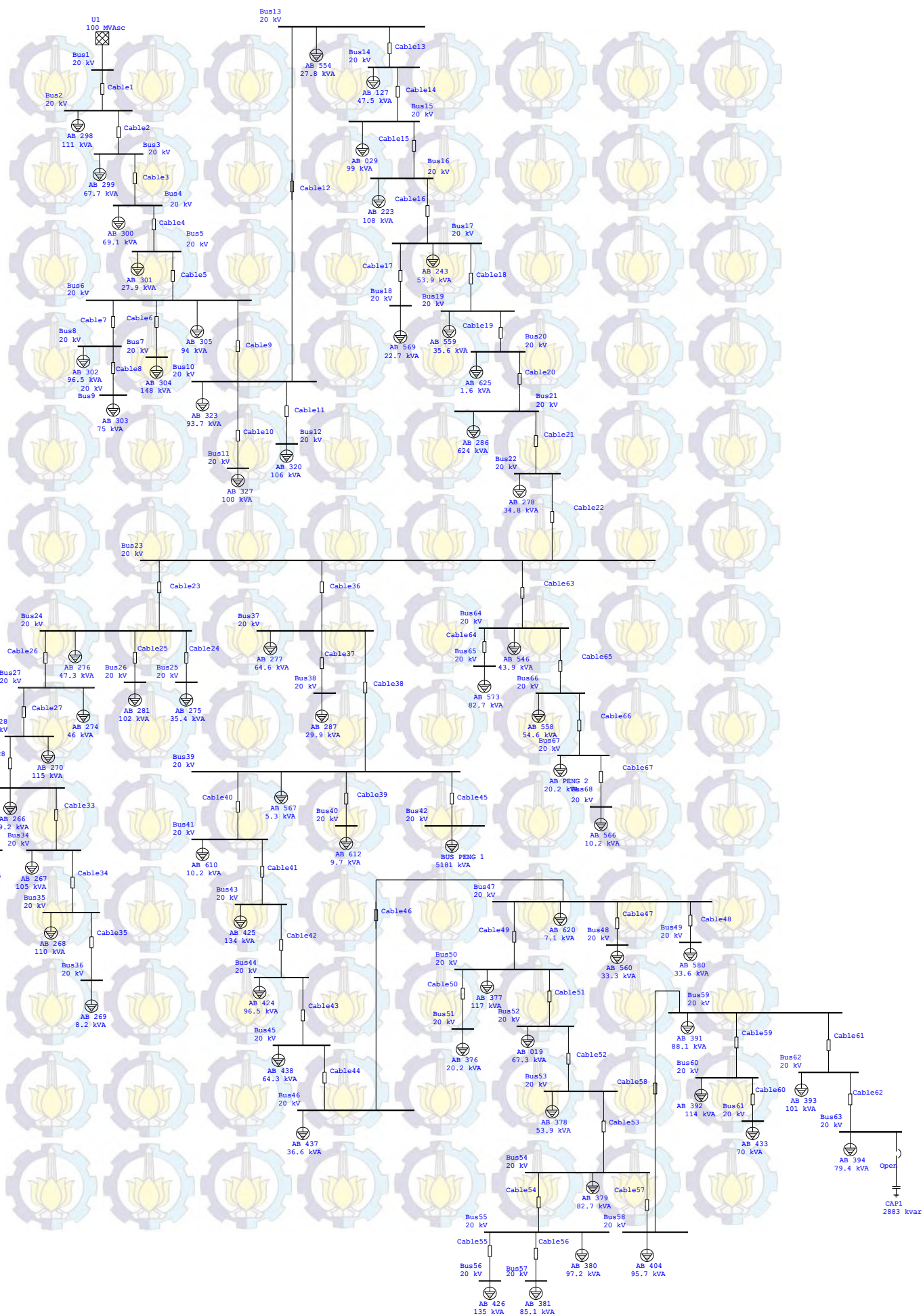
Saluran		Impedansi		Pan- jang Salu- ran (m)	Daya					
Bus	Bus				P (kW)			Q (kVAR)		
					R-N	S-N	T-N	R-N	S-N	T-N
24	27	0.082	0.040	308	18.304	10.552	15.720	4.587	2.644	3.940
23	37	0.175	0.086	660	14.428	19.596	28.640	3.616	4.911	7.178
23	64	0.140	0.069	528	8.257	12.168	22.163	2.069	3.049	5.554
27	28	0.047	0.023	176	40.269	33.162	37.685	10.092	8.311	9.444
28	29	0.070	0.034	264	18.903	7.170	11.950	4.738	1.797	2.995
29	30	0.070	0.034	264	37.469	33.162	28.856	9.390	8.311	7.232
30	31	0.070	0.034	264	6.953	13.254	4.997	1.743	3.322	1.252
31	32	0.035	0.017	132	22.723	38.587	31.298	5.695	9.671	7.844
32	33	0.058	0.029	220	16.366	10.552	14.858	4.102	2.644	3.724
29	34	0.105	0.051	396	29.418	36.773	35.907	7.373	9.216	8.999
34	35	0.058	0.029	220	40.333	35.851	30.943	10.108	8.985	7.755
35	36	0.082	0.040	308	0.000	1.140	6.839	0.000	0.286	1.714
37	38	0.070	0.034	264	8.255	10.040	10.709	2.069	2.516	2.684
37	39	0.163	0.080	616	1.333	2.888	0.889	0.334	0.724	0.223
39	40	0.163	0.080	616	3.946	2.411	3.069	0.989	0.604	0.769
39	41	0.035	0.017	132	4.073	1.715	4.073	1.021	0.430	1.021
39	42	0.082	0.040	308	1313.5	1541.3	2171.3	329.1	386.3	544.18
41	43	0.023	0.011	88	43.960	34.144	51.856	11.017	8.557	12.996
43	44	0.070	0.034	264	44.741	16.587	32.301	11.213	4.157	8.095
44	45	0.047	0.023	176	9.510	20.789	32.068	2.383	5.210	8.037
45	46	0.023	0.011	88	8.663	9.329	17.548	2.171	2.338	4.398
46	47	0.093	0.046	352	1.730	3.461	1.730	0.434	0.867	0.434
47	48	0.117	0.057	440	10.774	10.774	10.774	2.700	2.700	2.700
47	49	0.140	0.069	528	10.857	10.857	10.857	2.721	2.721	2.721
47	50	0.117	0.057	440	46.308	34.357	33.077	11.606	8.611	8.290
50	51	0.117	0.057	440	5.975	8.323	5.335	1.497	2.086	1.337



Saluran		Impedansi		Pan- jang Salu- ran (m)	Daya					
Bus	Bus				P (kW)			Q (kVAR)		
		R (Ω)	X ((Ω)		R-N	S-N	T-N	R-N	S-N	T-N
50	52	0.175	0.086	660	18.386	22.713	24.227	4.608	5.692	6.072
52	53	0.047	0.023	176	13.782	18.519	20.027	3.454	4.641	5.019
53	54	0.012	0.006	44	26.035	27.742	26.462	6.525	6.953	6.632
54	55	0.035	0.017	132	32.516	28.856	32.947	8.149	7.232	8.257
55	56	0.035	0.017	132	43.607	43.607	43.607	10.929	10.929	10.929
55	57	0.035	0.017	132	33.911	29.003	19.633	8.499	7.269	4.920
54	58	0.035	0.017	132	21.866	36.014	34.942	5.480	9.026	8.757
58	59	0.035	0.017	132	25.841	31.440	28.210	6.476	7.879	7.070
59	60	0.047	0.023	176	33.593	32.732	44.575	8.419	8.203	11.171
60	61	0.035	0.017	132	27.718	15.932	24.226	6.947	3.993	6.071
59	62	0.058	0.029	220	33.593	31.323	32.685	8.419	7.850	8.191
62	63	0.035	0.017	132	34.357	23.047	19.633	8.611	5.776	4.920
64	65	0.070	0.034	264	26.035	27.742	26.462	6.525	6.953	6.632
64	66	0.082	0.040	308	12.920	21.534	18.519	3.238	5.397	4.641
66	67	0.082	0.040	308	5.975	8.323	5.335	1.497	2.086	1.337
67	68	0.140	0.069	528	4.073	1.715	4.073	1.021	0.430	1.021



# One-Line Diagram - OLV1 (Load Flow Analysis)





## LAMPIRAN 3

### Program MATLAB

#### 1. Penyulang Kapas Keramping

##### a. Network Topology

```
saluran=linedata(:,(3:1:8));  
% Membangun K-matrik 1 fasa  
nbus=length(linedata(:,1));  
bus1 = linedata(:,1);  
bus2 = linedata(:,2);  
b = sort(linedata,'descend');  
c = b(:,1:2);  
d = c(1,:);  
e = sort (d,'descend');  
f = e(1,1);  
Kmatrik0 = zeros(f);  
Kmatrik0(1,1) = 1;  
a0 = size(linedata);  
a = a0(1,1);  
for i=1:a  
    Kmatrik0(:,bus2(i)) = Kmatrik0(:,bus1(i));  
    Kmatrik0(i,bus2(i)) = 1;  
end  
Kmatrik = Kmatrik0;  
Kmatrik(:,1) = [];  
Kmatrik(a+1,:) = [];  
  
% Membangun K-matrik untuk 3 fasa  
Kmatrik3 = zeros(a*3);  
for i=0:(a-1)  
    for g=0:(a-1)  
        Kmatrik3((3*i)+1:(3*i)+3,(3*g)+1:(3*g)+3) =  
        Kmatrik(i+1,g+1);  
        if linedata(i+1,3)<=0  
            Kmatrik3((3*i)+1,(3*g)+1) = 0;  
            Kmatrik3((3*i)+2,(3*g)+1) = 0;  
            Kmatrik3((3*i)+3,(3*g)+1) = 0;  
            Kmatrik3((3*i)+1,(3*g)+2) = 0;
```



```

        Kmatrik3((3*i)+2, (3*g)+2) =
Kmatrik3((3*i)+2, (3*g)+2);
        Kmatrik3((3*i)+3, (3*g)+2) =
Kmatrik3((3*i)+3, (3*g)+2);
        Kmatrik3((3*i)+1, (3*g)+3) = 0;
        Kmatrik3((3*i)+2, (3*g)+3) =
Kmatrik3((3*i)+2, (3*g)+3);
        Kmatrik3((3*i)+3, (3*g)+3) =
Kmatrik3((3*i)+3, (3*g)+3);
    end
    if linedata(i+1,5)<=0
        Kmatrik3((3*i)+1, (3*g)+1) =
Kmatrik3((3*i)+1, (3*g)+1);
        Kmatrik3((3*i)+2, (3*g)+1) = 0;
        Kmatrik3((3*i)+3, (3*g)+1) =
Kmatrik3((3*i)+3, (3*g)+1);
        Kmatrik3((3*i)+1, (3*g)+2) = 0;
        Kmatrik3((3*i)+2, (3*g)+2) = 0;
        Kmatrik3((3*i)+3, (3*g)+2) = 0;
        Kmatrik3((3*i)+1, (3*g)+3) =
Kmatrik3((3*i)+1, (3*g)+3);
        Kmatrik3((3*i)+2, (3*g)+3) = 0;
        Kmatrik3((3*i)+3, (3*g)+3) =
Kmatrik3((3*i)+3, (3*g)+3);
    end
    if linedata(i+1,7)<=0
        Kmatrik3((3*i)+1, (3*g)+1) =
Kmatrik3((3*i)+1, (3*g)+1);
        Kmatrik3((3*i)+2, (3*g)+1) =
Kmatrik3((3*i)+2, (3*g)+1);
        Kmatrik3((3*i)+3, (3*g)+1) = 0;
        Kmatrik3((3*i)+1, (3*g)+2) =
Kmatrik3((3*i)+1, (3*g)+2);
        Kmatrik3((3*i)+2, (3*g)+2) =
Kmatrik3((3*i)+2, (3*g)+2);
        Kmatrik3((3*i)+3, (3*g)+2) = 0;
        Kmatrik3((3*i)+1, (3*g)+3) = 0;
        Kmatrik3((3*i)+2, (3*g)+3) = 0;
        Kmatrik3((3*i)+3, (3*g)+3) = 0;
    end
end

```

```

end
end

% Membangun matrik impedansi
hi = zeros((3*a),3);
for i=0:a-1

    hi((3*i)+1,1)=linedata(i+1,3)+(linedata(i+1,4)*j
    );
    hi((3*i)+2,2)=linedata(i+1,5)+(linedata(i+1,6)*j
    );
    hi((3*i)+3,3)=linedata(i+1,7)+(linedata(i+1,8)*j
    );
    % Mencari mutual impedance
    if linedata(i+1,9) > 0
        mutualimpedanceRS = 0;
    else mutualimpedanceRS = 0;
    end

    if linedata(i+1,10) > 0
        mutualimpedanceST = 0;
    else mutualimpedanceST = 0;
    end

    if linedata(i+1,11) > 0
        mutualimpedanceRT = 0;
    else mutualimpedanceRT = 0;
    end

    selfimpedance = 0;
    hi((3*i)+1,2)= mutualimpedanceRS;
    hi((3*i)+1,3)= mutualimpedanceRT;
    hi((3*i)+2,3)= mutualimpedanceST;
    hi((3*i)+2,1)= hi((3*i)+1,2);
    hi((3*i)+3,1)= hi((3*i)+1,3);
    hi((3*i)+3,2)= hi((3*i)+2,3);

```

```

    if hi((3*i)+1,1)>0
        hi((3*i)+1,1)= hi((3*i)+1,1)+ selfimpedance;
    else hi((3*i)+1,1)=0;
    end

    if hi((3*i)+2,2)>0
        hi((3*i)+2,2)= hi((3*i)+2,2)+ selfimpedance;
    else hi((3*i)+2,2)=0;
    end

    if hi((3*i)+3,3)>0
        hi((3*i)+3,3)= hi((3*i)+3,3)+ selfimpedance;
    else hi((3*i)+3,3)=0;
    end
end

% Pembuatan matrik impedansi
Zmatrik = zeros(a*3);
for k=0:a-1
    for i=0:a-1
        Zmatrik((3*i)+1, (3*k)+1:(3*k)+3)=
            hi((3*k)+1,1:3);
        Zmatrik((3*i)+2, (3*k)+1:(3*k)+3)=
            hi((3*k)+2,1:3);
        Zmatrik((3*i)+3, (3*k)+1:(3*k)+3)=
            hi((3*k)+3,1:3);
    end
end

% Inisiasi BIBC dan BCBV
BIBC = Kmatrik3;
BCBV = Kmatrik3';

% Definisi tegangan 3 fasa
V      = tegangan;
I      = zeros(a*3,1);
S      = (busdata(:,2)+(busdata(:,3)*j));
Icek   = 1;           % untuk inisiasi iterasi
t      = 1;

```



```

while (Icek > 0.000001)
    DLF = (BCBV.*Zmatrik)*(BIBC);
    dV = DLF*I(:, :, t);
    t=t+1;
    Vu = V-dV;
    for i=0:a-1
        I((3*i)+1,1,t) =
        (conj(busdata(i+1,2)+(busdata(i+1,3)*j))/Vu((3*i
        )+1,1));
        I((3*i)+2,1,t) =
        (conj(busdata(i+1,4)+(busdata(i+1,5)*j))/Vu((3*i
        )+2,1));
        I((3*i)+3,1,t) =
        (conj(busdata(i+1,6)+(busdata(i+1,7)*j))/Vu((3*i
        )+3,1));
    end;
    Icek = max(abs(I(:,1,t))-abs(I(:,1,t-1)));
end
V = Vu;

% MENAMPILKAN HASIL PROGRAM
% Tampilan tegangan
Vinisiasi = zeros(3,1);
Vinisiasi(1,1) =
    (tegangan*cos((pi/180)*0))+((tegangan*sin((pi/18
    0)*0))*j);
Vinisiasi(2,1) = (tegangan*cos((pi/180)*-
    120))+((tegangan*sin((pi/180)*-120))*j);
Vinisiasi(3,1) =
    (tegangan*cos((pi/180)*(120)))+( (tegangan*sin((p
    i/180)*(120)))*j);
V_akhir = [Vinisiasi; V];

% Menampilkan sudut tegangan untuk inisiasi di
akhir
V_angle_inisiasi = zeros(a*3,1);
for i=0:a-1

```

```

V_angle_inisiasi((3*i)+1,1) = 0;
V_angle_inisiasi((3*i)+2,1) = -120;
V_angle_inisiasi((3*i)+3,1) = 120;
end
V_angle_awal = [0
                -120
                120];
V_angle1 = (180/pi)*angle(V);
V_angle2 = V_angle_inisiasi + V_angle1;
V_angle = [V_angle_awal; V_angle2];

% Pembuatan matrik BIBC untuk definisi hasil
% arus Branch
BIBChasil = Kmatrik3;
for i=0:(a-1)
    for g=0:(a-1)
        BIBChasil((3*i)+1,(3*g)+2) = 0;
        BIBChasil((3*i)+1,(3*g)+3) = 0;
        BIBChasil((3*i)+2,(3*g)+3) = 0;
        BIBChasil((3*i)+2,(3*g)+1) = 0;
        BIBChasil((3*i)+3,(3*g)+1) = 0;
        BIBChasil((3*i)+3,(3*g)+2) = 0;
    end
end
Ibranch = (BIBChasil*I(:, :, t)*1000);
I_inisiasi = zeros(3,1);
I_inisiasi(:,1) = Ibranch(1:3,1);
I_akhir = [I_inisiasi; Ibranch];

% Tampilan bus
Bus = zeros(a*3,1);
for i=0:(a-1)
    Bus((3*i)+1,1) = busdata(i+1,1);
    Bus((3*i)+2,1) = busdata(i+1,1);
    Bus((3*i)+3,1) = busdata(i+1,1);
end
Bus_inisial = zeros(3,1);
Bus_inisial(:,1) = 1;
Bus_akhir = [Bus_inisial; Bus];

```

```

% Mencari aliran daya aktif dan daya reaktif
saluran
S_akhir = zeros(((a*3)+3),1);
for i=1:((a*3)+3)
    S_akhir(i,1) =
    V_akhir(i,1)*(conj(I_akhir(i,1)));
end
P_akhir = real(S_akhir);
Q_akhir = imag(S_akhir);
P_akhir(1:3,1) = P_akhir(4:6,1);
Q_akhir(1:3,1) = Q_akhir(4:6,1);

%Merubah hasil kedalam p.u
KVBase=tegangan;
ZBase= KVBase^2/MVABase;
IBase= MVABase/KVBase;

V_akhira = V_akhir./KVBase;
I_akhira = I_akhir./(IBase*10^3);
P_akhira = P_akhir./(MVABase*10^3);
Q_akhira = Q_akhir./(MVABase*10^3);
R_akhira = saluran(:,(1:2:5))./ZBase;
X_akhira = saluran(:,(2:2:6))./ZBase;

for zz=1:length(saluran)
    for zzz=1:3

        Z_akhir(zz,zzz)=R_akhira(zz,zzz)+X_akhira(zz,zzz
        )*j;
    end
end
Z_akhir;
% Menampilkan hasil
z=linedata;
hasil1 = Bus_akhir;
hasil2 = abs(V_akhir);
hasil3 = V_angle;
hasil4 = sqrt(3)*abs(I_akhir);

```



```

hasil5 = P_akhir;
hasil6 = Q_akhir;
% Menampilkan hasil tegangan=0 saat arus=0
for i=1:((a*3)+3)
if hasil4(i,1)>0
    hasil2(i,1) = hasil2(i,1);
else
    hasil2(i,1) = 0;
end
end

for ipf=1:length(busdata)+1
    Ir_akhir(ipf)=I_akhir(ipf+(2*(ipf-1)),1);
    Is_akhir(ipf)=I_akhir(1+(ipf+(2*(ipf-1))),1);
    It_akhir(ipf)=I_akhir(2+(ipf+(2*(ipf-1))),1);
    I_branch=[Ir_akhir' Is_akhir' It_akhir'];
end

arus_losses = sqrt(3)*I_akhir;
impedansi = zeros((a*3)+3,1);
for i=1:a
    impedansi((3*i)+1,1) =
linedata(i,3)+linedata(i,4)*j;
    impedansi((3*i)+2,1) =
linedata(i,3)+linedata(i,4)*j;
    impedansi((3*i)+3,1) =
linedata(i,3)+linedata(i,4)*j;
end
losses(:,1) = abs(arus_losses);
losses(:,2) = abs(impedansi);
losses(:,3) =
(losses(:,1)).*(losses(:,1)).*(losses(:,2));

```

## b. Voltage Ranking Index

```
% Mengubah data menjadi format matrik
(bus:phase)%
for jj=1:(length(V_akhir)/3)
    if jj==1
        V_tigafasa(jj,1) =
            ((tegangan*cos((pi/180)*0))+((tegangan*sin((pi/180)*0))*j))/KVBase;
        V_tigafasa(jj,2) = ((tegangan*cos((pi/180)*-120))+((tegangan*sin((pi/180)*-120))*j))/KVBase;
        V_tigafasa(jj,3) =
            ((tegangan*cos((pi/180)*(120)))+((tegangan*sin((pi/180)*(120))*j))/KVBase;
    else
        V_tigafasa(jj,1) = ((abs(hasil2((3*jj)-2))*cos((hasil3((3*jj)-2)*(pi/180)))+abs(hasil2((3*jj)-2))*sin((hasil3((3*jj)-2)*(pi/180)))*j)/KVBase;
        V_tigafasa(jj,2) = ((abs(hasil2((3*jj)-1))*cos((hasil3((3*jj)-1)*(pi/180)))+abs(hasil2((3*jj)-1))*sin((hasil3((3*jj)-1)*(pi/180)))*j)/KVBase;
        V_tigafasa(jj,3) =
            ((abs(hasil2(3*jj))*cos((hasil3(3*jj))*(pi/180)))+abs(hasil2(3*jj))*sin((hasil3(3*jj))*(pi/180)))*j)/KVBase;
    end
end

for uu=1:length(V_tigafasa)-1
    Ibrn(uu,1) = ((V_tigafasa(linedata(uu,1),1)-V_tigafasa(linedata(uu,2),1))/(linedata(uu,3)+j*linedata(uu,4))/ZBase);
    Ibrn(uu,2) = ((V_tigafasa(linedata(uu,1),2)-V_tigafasa(linedata(uu,2),2))/(linedata(uu,5)+j*linedata(uu,6))/ZBase);
    Ibrn(uu,3) = ((V_tigafasa(linedata(uu,1),3)-V_tigafasa(linedata(uu,2),3))/(linedata(uu,7)+j*linedata(uu,8))/ZBase);
```

end

```
for gg=1:length(V_tigafasa)
    if gg==1
        I_bnr(gg,1)=Ibnr(gg,1);
        I_bnr(gg,2)=Ibnr(gg,2);
        I_bnr(gg,3)=Ibnr(gg,3);
    else
        I_bnr(gg,1)=Ibnr(gg-1,1);
        I_bnr(gg,2)=Ibnr(gg-1,2);
        I_bnr(gg,3)=Ibnr(gg-1,3);
    end
end
%----- Impedansi -----
%-----
for jj=1:(length(Z_akhir))
    Z_akhira(jj,1) =
    (linedata(jj,3)+linedata(jj,4)*j)./ZBase;
    Z_akhira(jj,2) =
    (linedata(jj,5)+linedata(jj,6)*j)./ZBase;
    Z_akhira(jj,3) =
    (linedata(jj,7)+linedata(jj,8)*j)./ZBase;
end

for jj=1:(length(Z_akhir))
    hi_akhira(:, :, jj) = hi((3*jj-2):1:(3*jj), :);
end
%Mengubah data tiap fasa menjadi komponen
sequence%
sA = -0.5+0.866*j;
sA2 = -0.5-0.866*j;

matrixA=[1 1 1
         1 sA2 sA
         1 sA sA2];
matrixA2=inv(matrixA);

for ss=1:length(V_tigafasa)
    %tegangan Sequence
```



```

Vsequ(ss,1) =
(1/3)*((V_tigafasa(ss,1)*1)+(V_tigafasa(ss,2)*1)
+(V_tigafasa(ss,3)*1));
Vsequ(ss,2) =
(1/3)*((V_tigafasa(ss,1)*1)+(V_tigafasa(ss,2)*sA
)+(V_tigafasa(ss,3)*sA2));
Vsequ(ss,3) =
(1/3)*((V_tigafasa(ss,1)*1)+(V_tigafasa(ss,2)*sA
2)+(V_tigafasa(ss,3)*sA));

%Arus Sequence
Isequ(ss,1) =
(1/3)*(((I_bnr(ss,1)*1))+(I_bnr(ss,2)*1)+(I_bnr(
ss,3)*1));
Isequ(ss,2) =
(1/3)*(((I_bnr(ss,1)*1))+(I_bnr(ss,2)*sA)+(I_bnr
(ss,3)*sA2));
Isequ(ss,3) =
(1/3)*((I_bnr(ss,1)*1)+(I_bnr(ss,2)*sA2)+(I_bnr(
ss,3)*sA));

end
V_positif=real(Vsequ(:,2));

for sk=1:(length(Z_akhir))
    %Impedansi Sequence
    Zsequ(:, :, sk) =
matrixA2*hi_akhira(:, :, sk)*matrixA;
    Zsequu(sk,1) = Zsequ(1,1,sk);
    Zsequu(sk,2) = Zsequ(2,2,sk);
    Zsequu(sk,3) = Zsequ(3,3,sk);
    Xseq(sk,:) = abs(imag(Zsequu(sk,:)));
    Rseq(sk,:) = real(Zsequu(sk,:));
end

for sw=1:length(V_tigafasa)
    angle_phi(sw,1) = angle(Vsequ(sw,1))-
angle(Isequ(sw,1));

```

```

    angle_phi(sw,2) = angle(Vsequ(sw,2))-
angle(Isequ(sw,2));
    angle_phi(sw,3) = angle(Vsequ(sw,3))-
angle(Isequ(sw,3));

    cosphi(sw,:) = cos(angle_phi(sw,:));
    sinphi(sw,:) = sin(angle_phi(sw,:));

    Sseq(sw,1) =
(Vsequ(sw,1))*conj(Isequ(sw,1));
    Sseq(sw,2) =
(Vsequ(sw,2))*conj(Isequ(sw,2));
    Sseq(sw,3) =
(Vsequ(sw,3))*conj(Isequ(sw,3));

    Stot(sw,1) =
Sseq(sw,1)+Sseq(sw,2)+Sseq(sw,3);
    Pseq(sw,:) = real(Sseq(sw,:));
    Qseq(sw,:) = imag(Sseq(sw,:));
end

%----- VOLTAGE RANKING INDEX 3 PHASE
USING VRI% -----

for vii=1:length(V_tigafasa)
    if vii==1
        RI(vii,1) = 1;
        RI(vii,2) = 1;
        RI(vii,3) = 1;
    else
        RI(vii,1) = (((((0.5*(Vsequ(vii,1)))^2)-
(Pseq(vii,1)*Rseq(vii-1,1))-
(Qseq(vii,1)*j*Xseq(vii-
1,1)))+(0.25*(((Vsequ(vii,1))^2)-
(2*Pseq(vii,1)*Rseq(vii-1,1))-
(2*Qseq(vii,1)*j*Xseq(vii-1,1)))^2)-
(((Pseq(vii,1))^2)+(Qseq(vii,1))^2))*(((Rseq(v
ii-1,1))^2)+(j*Xseq(vii-
1,1))^2))))^0.5))/(Vsequ(vii,1))^0.5;

```

```

        RI(vii,2) = (((((0.5*(Vsequ(vii,2)))^2)-
(Psequ(vii,2)*Rseq(vii-1,2))-
(Qsequ(vii,2)*j*Xseq(vii-
1,2)))+( ((0.25*(((Vsequ(vii,2))^2)-
(2*Psequ(vii,2)*Rseq(vii-1,2))-
(2*Qsequ(vii,2)*j*Xseq(vii-1,2)))^2)-
(((Psequ(vii,2))^2)+(Qsequ(vii,2))^2))*((Rseq(v
ii-1,2))^2)+(j*Xseq(vii-
1,2))^2))))^0.5))/ (Vsequ(vii,2)))^0.5;
        RI(vii,3) = (((((0.5*(Vsequ(vii,3)))^2)-
(Psequ(vii,3)*Rseq(vii-1,3))-
(Qsequ(vii,3)*j*Xseq(vii-
1,3)))+( ((0.25*(((Vsequ(vii,3))^2)-
(2*Psequ(vii,3)*Rseq(vii-1,3))-
(2*Qsequ(vii,3)*j*Xseq(vii-1,3)))^2)-
(((Psequ(vii,3))^2)+(Qsequ(vii,3))^2))*((Rseq(v
ii-1,3))^2)+(j*Xseq(vii-
1,3))^2))))^0.5))/ (Vsequ(vii,3)))^0.5;

    end
end
RI;
RI_sequ=real(RI(:,2)); %dipakai dalam tabel
RI_sequ2=abs(RI(:,2));
RI_sequ2;
%----- Ranking VRI -----
RI_sequ=RI_sequ';
[V,I]=sort(RI_sequ);
temp=[1:length(busdata)+1];
rank=temp(I);
rank_bus_RI=rank';
%----- Voltage Drop (%) -----
for vin=1:length(V_positif)
    dV(vin)=((V_positif(1,1)-
V_positif(vin,1))/V_positif(1,1))*100;
end

```



### c. Perhitungan nilai kapasitor

```
Xc_Rnew=busdata(rank_V_sys1(1,1)-1,3);
Xc_Snew=busdata(rank_V_sys1(1,1)-1,5);
Xc_Tnew=busdata(rank_V_sys1(1,1)-1,7);
XCnew=[Xc_Rnew
        Xc_Snew
        Xc_Tnew];

Xc_cap=min(XC)-min(XCnew);    %kVar
Cap=(Xc_cap)/((1^2)*2*pi*freq);

fprintf('Nilai Kapasitor Terpasang :');
fprintf('\n');
fprintf('Kapasitas Q (kVar) ->');fprintf('
%2.7f', Xc_cap); fprintf(' kVar');
fprintf('\n');
fprintf('Kapasitas C (Farad) ->');fprintf('
%2.7f', Cap); fprintf(' Farad');
fprintf('\n');
fprintf('Pada Bus ->'); fprintf('    %5.0f',
rank_V_sys1(1,1));
fprintf('\n');
fprintf('Voltage System Correction to -
>');fprintf(' %1.2f'    , Vsys); fprintf('
(p.u)');
fprintf('\n');
```